



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 24\text{MPa}$), FABRICADO CON CEMENTO LAFARGE Y MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA DEL RÍO ÁNZU, CANTÓN TENA, PROVINCIA DEL NAPO”

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

OPCIÓN ESTRUCTURAS

AUTOR:

QUINGALUISA SÁEZ ALEX PATRICIO

TUTOR:

ING. WASHINGTON ELIECER BENAVIDES ORBE.

QUITO – ECUADOR

2014

DEDICATORIA

El esfuerzo dedicado en toda mi carrera universitaria y en especial a este trabajo de graduación, se lo dedico a Dios, por ser la luz que me supo guiar en todo momento dándome fortaleza, fuerza, voluntad y sabiduría para superar todas las dificultades que se presentaron a diario.

A mis padres Mesías y Martha que son el eje principal en mi vida, que gracias a sus enseñanzas, su apoyo y dedicación hicieron de mí una persona íntegra, cumplidora de los deberes y las obligaciones, permitiéndome culminar una etapa más de mi vida.

A mis hermanos Elizabeth y Luis Fernando, que a pesar de la distancia siempre estaban ahí apoyándome, dándome ánimos.

A Cristina quien me apoyo desde el primer día que me conoció, compartiendo momentos buenos y malos hasta finalizar con mi carrera, también comparto el logro contigo.

A mi Familia y Amigos, que brindaron su granito de arena para poder culminar con mi carrera Universitaria.

MUCHISIMAS GRACIAS.

Alex Patricio Quingaluisa Sáez

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios por haberme dado la vida, sabiduría y fuerza de voluntad para culminar de la mejor manera esta maravillosa carrera universitaria.

Agradezco a mis padres por darme la educación y brindarme su apoyo a lo largo de mi vida para alcanzar mis metas propuestas, también por ser el ejemplo de superación y lucha en los momentos difíciles.

A mis hermanos y a toda mi familia, que siempre están conmigo compartiendo y apoyando en los momentos buenos y malos.

A mi compañero y amigo de tesis Edgar, por la colaboración y apoyo brindado para la culminación de este proyecto; y de manera especial a mi amiga Cristina Albán que estuvo muy pendiente de mí apoyándome de una manera incondicional en todo este proceso.

De igual manera a la Universidad Central del Ecuador en especial a la Carrera de Ingeniería Civil, a sus profesores, que me compartieron sus enseñanzas convirtiéndome en un profesional de éxito, en especial a los miembros del tribunal Ing. Ernesto Pro, Ing. Jorge Santamaría y a mi tutor Ing. Washington Benavides, quienes me guiaron durante este proceso de investigación y poderlo materializar.

Al laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos por prestarnos sus instalaciones, herramientas y equipos para llevar a cabo esta investigación; también a todo su personal y de manera especial a la Ing. Angélica Merizalde por la ayuda prestada.

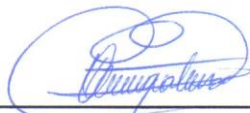
Alex Patricio Quingaluisa Sáez

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, Quingaluisa Sáez Alex Patricio, en calidad de autor del trabajo de investigación o tesis realizada sobre “DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 24$ MPa), FABRICADO CON CEMENTO LAFARGE Y MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA DEL RÍO ÁNZU, CANTÓN TENA, PROVINCIA DEL NAPO”, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 10 de Marzo del 2014.



Alex Patricio Quingaluisa Sáez

C. C. 150073422-1

CERTIFICACIÓN

En calidad de Tutor del proyecto de investigación: “DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGON, EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 24 \text{ MPa}$), FABRICADO CON CEMENTO LAFARGE Y MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA DEL RIO ANZU, CANTON TENA, PROVINCIA DEL NAPO”, presentado y desarrollado por el señor: QUINGALUISA SÁEZ ALEX PATRICIO, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, considero que el proyecto reúne los requisitos necesarios.

En la ciudad de Quito, a los 26 días del mes de febrero del 2014



Ing. Eliecer Washington Benavides Orbe

TUTOR

INFORME SOBRE CULMINACIÓN DE TESIS

TESIS: “DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 24$ MPa), FABRICADO CON CEMENTO LAFARGE Y MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA DEL RÍO ÁNZU, CANTÓN TENA, PROVINCIA DEL NAPO”

TUTOR: Ing. WASHINGTON BENAVIDES

FECHA: 26 de febrero del 2014

1.- ANTECEDENTES

- Con Oficio FI-DCIC-2013-293 del 26 de abril de 2013, el señor Director de la Carrera de Ingeniería Civil, en base a los informes favorables de los Ingenieros Marco Ayabaca y Ernesto Pro, comunica sobre la aprobación de la correspondiente denuncia de tesis realizada por el señor:

QUINGALUISA SÁEZ ALEX PATRICIO

- Que versa sobre: “DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 24$ MPa), FABRICADO CON CEMENTO LAFARGE Y MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA DEL RÍO ÁNZU, CANTÓN TENA, PROVINCIA DEL NAPO”.

2.- DESARROLLO DE LA TESIS

- El señor QUINGALUISA ALEX procede a la recolección de los materiales necesarios para el desarrollo de la tesis: agregados (Arena y ripio) provenientes de la cantera “Río Ánzu” perteneciente al GAD del cantón Tena y cemento LAFARGE (Selva Alegre Plus). Los agregados y el cemento se trasladan y se los almacenan en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Carrera de Ingeniería Civil.
- Se procede a determinar las características físicas y mecánicas de los materiales (agregados y cemento) de conformidad con las normas INEN y ASTM.
- Se realizan diseños de prueba de los hormigones utilizando el Método de la DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS, con los resultados obtenidos de los ensayos realizados a cilindros de hormigón de las mezclas de prueba, se procede a elaborar el hormigón definitivo tanto para cilindros como para las vigas estándar y simplemente armadas.
- Los hormigones obtenidos con los diseños y dosificaciones definitivos producen los resultados esperados en lo que tiene relación a su resistencia a los 28 días (24 MPa).
- De conformidad con la norma ASTM 469, se procede a la determinación del Módulo de Elasticidad del Hormigón.
- Se emplearon las fórmulas de la ASTM para el cálculo del módulo de rotura y deflexiones en vigas simplemente armadas.
- El número de probetas se lo calcula de acuerdo al número de ensayos que se va a realizar como se describe en la siguiente tabla:

ELEMENTOS DE PRUEBA	N° PROBETAS	ENSAYO	NORMA	
			ASTM	INEN
Cilindros Estándar (100 x 200)mm	40	Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Hormigón.	ASTM C - 39	NTE INEN 1573:2010
Cilindros Estándar (150 x 300)mm	12	Método Estándar de Ensayo para Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson del Hormigón en Compresión.	ASTM C - 469	
Vigas Estándar (150 x 150 x500) mm	5	Método Estándar de Ensayo para Resistencia a la Flexión del Hormigón (Usando Vigas Simples con a los tercios del claro)	ASTM C - 78	NTE INEN 2554:2011
Vigas de Hormigón Armado (150 x 250x250) mm	3	Método Estándar de Ensayo para determinar fisuras y deflexiones (Usando Vigas de Hormigón Armado con carga a los tercios del claro)	ASTM C - 78	NTE INEN 2554:2011

- Para la determinación de la flexión del hormigón se empleó la norma ASTM C-78. De la misma manera se procedió para el ensayo de las vigas simplemente armadas aplicando el mismo criterio de la norma.
- El desarrollo de la tesis y de todos los ensayos estuvo siempre bajo la supervisión y control de los Ingenieros Washington Benavides, Ernesto Pro y Marco Ayabaca.

3.- CONCLUSIONES:

- La dosificación realizada utilizando el método de DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS, proporcionó los resultados esperados para la resistencia a la compresión a los 28 días.
- El resultado promedio de los ensayos a la compresión de los cilindros estándar de hormigón de (100 x 200) y (150 x 300) mm, son superiores a la resistencia especificada de 24 MPa, como se indica en la tabla:

Probeta (mm)	Edad (días)	Resistencia Especificada	Resistencia Experimental	% de Resistencia
		MPa	MPa	%
100 x 200	28	24	25.09	104.55
150 x 300			25.56	106.49

El incremento de resistencia se debe a la buena calidad de los agregados tanto: en dureza, peso específico y granulometría.

- El módulo de rotura promedio del hormigón determinada experimentalmente es superior a la calculada teóricamente en un 54.52 %, debido a la buena calidad de los agregados.

MÓDULO DE ROTURA					
CANTERA	RESISTENCIA TEÓRICA	RESISTENCIA EXPERIMENTAL	RESISTENCIA TEORICA	RESISTENCIA EXPERIMENTAL	% DE RESISTENCIA
	MPa	MPa	kg/cm2	kg/cm2	%
RIO ANZU	3,04	4,79	30,98	47,87	154,52

- El módulo de elasticidad determinado en base a los ensayos respectivos es mayor en un 3 % con respecto al módulo de elasticidad determinado por la norma ACI 318S – 08.

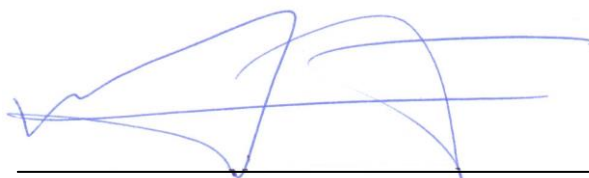
Resistencia a la Compresión Teórica f'c	Resistencia a la Compresión Experimental f'c	MÓDULO DE ELASTICIDAD		
		EXPERIMENTAL	ACI 318S - 08	NEC - 2011
MPa	MPa	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
24	25,56	240649,64	233928,19	230252,04

- Las deflexiones experimentales son mayores a la deflexiones teóricas, la misma que está calculada en base al peso propio y carga experimental aplicada en los tercios de la luz, a su vez la carga de falla en la que aparece la fisura calcula es menor a la carga experimental como se indica en la tabla.

N°	CARGA DE FALLA EXPERIMENTAL	CARGA DE FALLA CALCULADA	DEFLEXION CALCULADA		DEFLEXIÓN EXPERIMENTAL (Δ_e)	DEFLEXIÓN MÁXIMA (ACI)
			INSTANTANEA	A LARGO PLAZO		
	kg	kg	mm	mm	mm	mm
1	1150	1068,53	0,320	0,498	0,910	5,208
2	1050	1046,11	0,263	0,527	0,350	5,208
3	1100	1060,95	0,289	0,577	0,310	5,208

- Todos los resultados expuestos en este documento son válidos para la fabricación de hormigones siempre y cuando se lo realice con los agregados de la cantera “Río Ánzu”, provincia del Napo, cantón Tena y cemento Lafarge “Selva Alegre Plus”. Por tanto queda a consideración de la personas interesadas en utilizarlos o no.

Atentamente



Ing. WASHINGTON ELIECER BENAVIDES ORBE.

DIRECTOR TRIBUNAL DE TESIS



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DIRECCIÓN

Oficio FI-DCIC-2013 -**337**
Quito DM., 30 de abril de 2014

Ingenieros
ERNESTO PRO
JORGE SANTAMARÍA
PROFESORES, CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
Presente

Cordial saludo:

Ref. : calificación de Lectores

Cúmplame comunicar a ustedes que han sido designados LECTORES del Trabajo de Graduación que versa sobre: "DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c=24$ Mpa.) FABRICADO CON CEMENTO LAFARGE Y MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA DEL RÍO ANZU, CANTÓN TENA, PROVINCIA DEL NAPO", previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, presentado por el señor:

QUINGALUISA SÁEZ ALEX PATRICIO

a fin de que se sirvan emitir la CALIFICACIÓN respectiva, en el formulario que les remito anexo al presente.

Atentamente,

ING/ SUSANA GUZMÁN R., MSc.
DIRECTORA, CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Anexo: formulario
SG/ *Susana Guzmán*



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DIRECCIÓN
RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Quito DM.: 26 DE JUNIO DE 2014

Señor: QUINGALUISA SÁEZ ALEX PATRICIO

TEMA: "DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 24 \text{ MPa}$) FABRICADO CON CEMENTO LAFARGE Y MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA DEL RÍO ANZU, CANTÓN TENA, PROVINCIA DEL NAPO"

CALIFICACIÓN:

TRIBUNAL	PROFESOR (A)	NOTA SOBRE VEINTE		FIRMA
		NÚMEROS	LETRAS	
PROFESOR TITULAR	ING. JORGE SANTAYANA	19	DIECINUEVE	
PROFESOR TITULAR	ING. ERNESTO PIZA	20	VEINTE	
PROMEDIO		19.5	DIECINUEVE CON CINCO	

RUTH FLORES

Dra. Ruth Flores Chacón
SECRETARIA ABOGADA

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL	iv
CERTIFICACIÓN	v
INFORME SOBRE CULMINACIÓN DE TESIS	vi
CALIFICACIÓN TRIBUNAL	xii
CONTENIDO	xiv
LISTA DE TABLAS	xviii
LISTA DE FIGURAS	xix
LISTA DE ECUACIONES	xx
LISTA DE ANEXOS	xxi
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii
CERTIFICADO	xxiv

CONTENIDO

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1	ALCANCE E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.2	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3	PROYECCIÓN.....	3

CAPITULO 2

ESTUDIO DE LOS AGREGADOS

2.1	GENERALIDADES	5
2.2	CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN.....	6
2.2.1	POR SU PROCEDENCIA	6
2.2.2	POR SU TAMAÑO.....	7
2.2.3	POR SU GRAVEDAD ESPECIFICA Gs.....	8
2.3	PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS AGREGADOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS.....	9
2.3.1	GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.....	9
2.3.2	PROPIEDADES FÍSICAS	13
2.3.3	PROPIEDADES MECÁNICAS	18

CAPITULO 3

ESTUDIO DEL CEMENTO

3.1	GENERALIDADES	20
3.1.1	EL CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP	20
3.1.2	ORIGEN Y APARICIÓN EN EL ECUADOR.....	21
3.2	PROPIEDADES BÁSICAS DEL CEMENTO	23
3.3	TIPOS DE CEMENTO.....	27
3.4	CEMENTOS LAFARGE	30
3.4.1	DESCRIPCIÓN.....	30
3.4.2	CARACTERÍSTICAS.....	30

3.4.3	APLICACIONES	33
3.4.4	PRECAUCIONES.....	33

CAPITULO 4

EL HORMIGÓN

4.1	GENERALIDADES	34
4.2	MÉTODOS DE DISEÑO	35
4.3	PARÁMETROS DE DISEÑO DE MEZCLAS	37
4.3.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	37
4.3.2	RELACIÓN AGUA/CEMENTO.....	38
4.3.3	DOCILIDAD.....	39
4.3.4	CONTENIDO DE AGUA.....	40
4.3.5	CONTENIDO DE CEMENTO	41
4.3.6	CURADO	41

CAPITULO 5

MEZCLAS DE HORMIGÓN

5.1	GENERALIDADES	43
5.2	PROPIEDADES DEL HORMIGÓN DETERMINADAS POR LAS MEZCLAS DE PRUEBA.....	43
5.3	PROCEDIIMIENTO PARA EL PROYECTO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN	47
5.4	SELECCIÓN DEL AGREGADO	48
5.4.1	AGREGADOS PROCEDENTES DE LA CIUDAD DE TENA, CANTERA RÍO ÁNZU	49
5.5	MUESTREO DE LOS AGREGADOS	52
5.6	ENSAYO DE LOS AGREGADOS.....	54
5.6.1	ABRASIÓN.....	55
5.6.2	COLORIMETRÍA.....	59
5.6.3	DENSIDAD REAL EN ESTADO SSS	63
5.6.4	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	64

5.6.5	CONTENIDO DE HUMEDAD	72
5.6.6	DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA	76
5.6.7	GRANULOMETRÍA	87
5.7	ENSAYOS DEL CEMENTO	94
5.7.1	SELECCIÓN DEL CEMENTO	94
5.7.2	SUPERFICIE ESPECÍFICA (FINURA)	94
5.7.3	DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	95
5.7.4	CONSISTENCIA NORMAL	98
5.8	MEZCLAS DE PRUEBA	101
5.9	DOSIFICACIONES DE PRUEBA PARA OBTENER LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE $f'_c = 24$ MPa	104
5.10	PROYECCIÓN EN BASE A LA RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS	109

CAPITULO 6

MÉTODOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN Y COMPRESIÓN

6.1	SELECCIÓN DE MÉTODOS	112
6.2	ENSAYOS A TRACCIÓN	113
6.2.1	MÉTODO DE ENSAYO A FLEXIÓN	113
6.2.2	MÉTODO DE ENSAYO INDIRECTO DE TRACCIÓN O HENDIMIENTO	115
6.3	ENSAYOS A LA COMPRESIÓN	116
6.4	NORMA ASTM – C78	116
6.5	NORMA ASTM – C39	119
6.6	DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL Y TEÓRICA DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN	121
6.7	ANÁLISIS DE RESULTADOS	150

CAPITULO 7

DEFLEXIONES EN VIGAS

7.1	CONTROL DE LAS DEFLEXIONES	152
7.2	MÉTODO DEL ACI PARA EL CÁLCULO DE DEFLEXIONES	153

7.2.1	MOMENTO DE INERCIA DE SECCIÓN AGRIETADA	155
7.2.2	MOMENTO DE INERCIA EFECTIVO	157
7.2.3	MOMENTO DE AGRIETAMIENTO	158
7.3	CÁLCULO DE DEFLEXIONES	160
7.3.1	DEFLEXIÓN INSTANTANEA	160
7.3.2	DEFLEXIONES A LARGO PLAZO	161
7.4	CONTROL DE AGRIETAMIENTO	163
7.4.1	ANCHO DE FISURAS	165

CAPITULO 8

PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE ENSAYO

8.1	OBTENCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE PROBETAS EN LA INVESTIGACIÓN	167
8.1.1	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	168
8.2	PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PROBETAS Y ENSAYOS DE PROBETAS CILINDRICAS Y VIGAS	171
8.3	ENSAYO DE PROBETAS CILINDRICAS Y VIGAS	172
8.3.1	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN	172
8.3.2	TABULACIÓN DE RESULTADOS Y GRÁFICOS	174
8.3.3	CONTROL DE CALIDAD	184
8.3.4	CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MÓDULO DE ROTURA)	185
8.4	ENSAYO DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLEMENTE ARMADAS ..	186
8.4.1	TABULACIÓN DE RESULTADOS	186
8.4.2	COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS CON VALORES TEÓRICOS DE DEFLEXIONES	191

CAPITULO 9

RESULTADOS FINALES

9.1	RESUMEN FINAL DE LOS RESULTADOS	192
-----	---------------------------------------	-----

9.2	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS	197
9.3	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	203
	BIBLIOGRAFÍA.....	204
	WEBGRAFIA.....	204
	ANEXOS	206

LISTA DE TABLAS

TABLA N° 2.1.	Clasificación de los Agregados según sus partículas.....	8
TABLA N° 2.2.	Análisis Granulométrico	11
TABLA N° 3.1.	Requisitos Físicos del Cemento Selva Alegre Plus - Lafarge.....	32
TABLA N° 3.2.	Requisitos Químicos del Cemento Selvalegre Plus - Lafarge	32
TABLA N° 4.1.	Relación Agua/Cemento para diferentes Resistencias del Hormigón..	39
TABLA N° 5.1.	Cuadro de Asentamientos del Hormigón.	45
TABLA N° 5.2.	Especificaciones para la Carga.....	56
TABLA N° 5.3.	Gradación de las Muestras de Ensayo.....	56
TABLA N° 5.4.	Colorimetría del Agregado Fino	60
TABLA N° 5.5.	Resistencia Promedio Requerida – f'_{cr}	106
TABLA N° 5.6.	Porcentaje de Resistencia a la Compresión a diferentes Edades.....	110
TABLA N° 6.1.	Tabla de Ensayos a realizarse.	112
TABLA N° 6.2.	Resultados del Módulo de Elasticidad Experimental.....	148
TABLA N° 6.3.	Resumen de los Módulos de Elasticidad Teórico y Experimental.....	150
TABLA N° 7.1.	Tabla 9.5 (a) - Espesores y Alturas mínimas de vigas no pre-esforzadas o losas reforzadas en una dirección.....	154
TABLA N° 7.2.	Tabla 9.5 (b) – Máximas deflexiones admisibles calculadas.....	155
TABLA N° 7.3	Anchos Permisibles de Grietas para Hormigón Armado.	166
TABLA N° 8.1	Requisitos de resistencias a compresión con datos existentes.	173
TABLA N° 8.2	Corrección para datos estadísticos menores a 30 ensayos.	173
TABLA N° 8.3	Requisitos de resistencia la compresión cuando no se disponen de datos estadísticos.	174
TABLA N° 8.4	Factor de Corrección según la relación de Longitud al Diámetro de la Probeta.....	174

TABLA Nº 8.5 Relación entre la Resistencia a Compresión y el Módulo de Rotura..	185
TABLA Nº 8.6 Comparación entre valores teóricos y experimentales de las deflexiones.	
.....	191
TABLA Nº 9.1 Resistencia a la compresión en probetas estándar (100x200 mm).....	192
TABLA Nº 9.2 Resistencia a la compresión en probetas estándar (150x300 mm).....	192
TABLA Nº 9.3 Resistencia a la compresión en probetas estándar (150x300 mm).....	193
TABLA Nº 9.4 Comparación - Módulo de Elasticidad.....	194
TABLA Nº 9.5 Deflexiones Medidas Vs Deflexión Máxima.	194

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº 2.1. Curva Granulométrica	11
FIGURA Nº 2.2. Diferentes Estados de Saturación del Agregado	16
FIGURA Nº 3.1. Aparato de Vicat para determinar la Consistencia Normal y el tiempo de Fraguado del Cemento.....	26
FIGURA Nº 3.2. Requisitos Mecánicos del Cemento Selva Alegre Plus - Lafarge.....	32
FIGURA Nº 4.1. Influencia del curado en la resistencia del hormigón.	42
FIGURA Nº 5.1. Ensayo de Consistencia del Hormigón – Cono de Abrams.	45
FIGURA Nº 5.2. Cantera “Rio Ánzu”	49
FIGURA Nº 5.3. Ubicación Cantera “Rio Ánzu”	50
FIGURA Nº 5.4. Maquinaria Cantera “Rio Ánzu”	51
FIGURA Nº 5.5. Reserva Cantera “Rio Ánzu”	51
FIGURA Nº 5.6. Cuarteo Manual del Agregado	53
FIGURA Nº 5.7. Partidor de Jones	54
FIGURA Nº 5.8. Máquina de los Ángeles	56
FIGURA Nº 5.9. Colorimetría del Agregado Fino	59
FIGURA Nº 6.1. Ensayos a Tracción del Hormigón	113
FIGURA Nº 6.2. Esquema del ensayo a flexión de vigas estándar	114
FIGURA Nº 6.3. Ensayo de Tracción Indirecto.....	115
FIGURA Nº 6.4. Ensayo de Compresión de un Cilindro de Hormigón.	120
FIGURA Nº 6.5. Esquema de los modelos típicos de fractura	121

FIGURA N° 7.1. Sección transformada para el cálculo de comento de inercia critico	156
FIGURA N° 7.2. Esquema de Viga con carga Puntual.	158
FIGURA N° 8.1. Esquema de Carga en Viga Simplemente Armada.	187

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Módulo de Finura.	12
Ecuación 2.2 Densidad volumen seco.	13
Ecuación 2.3 Densidad Aparente.	14
Ecuación 2.4 Densidad Estado SSS.	14
Ecuación 2.5 Capacidad de Absorción.	16
Ecuación 2.6 Porcentaje de Vacíos.	17
Ecuación 2.7 Humedad.	18
Ecuación 5.1 Capacidad de Absorción.	65
Ecuación 5.2 Densidad de los Agregados	77
Ecuación 6.1 Módulo de Rotura dentro del tercio medio de la luz libre	118
Ecuación 6.2 Módulo de Rotura fuera del tercio medio de la luz libre.	118
Ecuación 6.3 Resistencia a la Compresión del Hormigón.	120
Ecuación 6.4 Módulo de Elasticidad del Hormigón – experimental.	123
Ecuación 7.1 Coeficiente equivalente de áreas.	156
Ecuación 7.2 Inercia Crítica para una sección rectangular simplemente armada.	156
Ecuación 7.3 Inercia Crítica para una sección rectangular doblemente armada.	157
Ecuación 7.4 Momento de Inercia Efectivo.	157
Ecuación 7.5 Esfuerzos normales por flexión.	158
Ecuación 7.6 Momento Crítico de Agrietamiento.	159
Ecuación 7.7 Deflexión elástica.	160
Ecuación 7.8 Deflexión por carga viva únicamente.	161
Ecuación 7.9 Factor tiempo.	162
Ecuación 7.10 Deflexión Total.	163
Ecuación 7.11 Deflexión a largo plazo.	163
Ecuación 7.12 Deflexión a por cargas sostenidas.	163
Ecuación 7.13 Espaciamiento del refuerzo	164

Ecuación 7.14 Ancho de Grietas Máximas.	165
Ecuación 7.15 Área Efectivo de Hormigón Traccionada.....	166
Ecuación 8.1 Valor Promedio.	184
Ecuación 9.1 Módulo de Rotura del Hormigón - Teórico.....	193

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.- Recolección del Material en la Mina.	206
Anexo 2.- Ensayo de Abrasión	207
Anexo 3.- Ensayo de Colorimetría	207
Anexo 4.- Ensayo de Granulometría.....	208
Anexo 5.- Ensayo de Densidad Aparente de los Agregados Suelta y Compactada	208
Anexo 6.- Ensayo Densidad Real de los Agregados (SSS)	209
Anexo 7.- Ensayo Densidad Optima de los Agregados	211
Anexo 8.- Ensayo Densidad Absoluta del Cemento	212
Anexo 9.- Ensayo Consistencia y Tiempos de Fraguado del Cemento	214
Anexo 10.- Mezclas de Hormigón de Prueba y Definitivas	216
Anexo 11.- Vigas de Hormigón Armado.....	218
Anexo 12.- Ensayo de Probetas de Hormigón	220
Anexo 13.- Ensayo de Vigas de Hormigón Armado	222

RESUMEN

“DETERMINACION DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f'_c = 24$ MPa). FABRICADO CON CEMENTO LAFARGE Y MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA RÍO ÁNZU, CANTÓN TENA, PROVINCIA DEL NAPO.”

El presente trabajo de investigación trata sobre la determinación del Módulo de Rotura del Hormigón y deflexiones en vigas simplemente armadas, con agregados procedentes de la cantera Río Ánzu y con cemento LAFARGE. Experimentalmente determinamos las propiedades de los componentes del hormigón como son agregados y cemento, para luego realizar la dosificación de mezclas por el método de “Densidades Óptimas de los Agregados” para una resistencia especificada de 24 MPa.

Para determinar el Módulo de Rotura se utilizaron vigas estándar de 15 x 15 x 50 cm, cuyos resultados obtenidos experimentalmente se compararon con los valores teóricos dados por los códigos, la siguiente ecuación propuesta son para agregados de la cantera “Río Ánzu” y cemento Lafarge “Selva Alegre Plus.

$$f_r = 3,02 \sqrt{f'_c} \quad \text{para } f'_c \text{ en kg/cm}^2$$

$$f_r = 0.95 \sqrt{f'_c} \quad \text{para } f'_c \text{ en MPa}$$

Las deflexiones se medirán en vigas simplemente armadas de (15 x 25 x 250) cm. Las mismas que se armaron con una cuantía mínima a flexión según el ACI 318S – 08, las deflexiones obtenidas experimentalmente se compraran con las máximas deflexiones permitidas.

DESCRIPTORES: CANTERA RÍO ÁNZU/ CEMENTO LAFARGE/ DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN/ NORMA ASTM C-78/ MÓDULO DE ROTURA HORMIGÓN/ VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS DE HORMIGÓN.

ABSTRACT

“DETERMINING THE MODULE BREAKAGE AND THE DEFLECTION OF CONCRETE BEAMS, BASED ON THEIR COMPRESSION RESISTANCE ($f'_c = 24$ MPa), MANUFACTURED BY LAFARGE CEMENT AND MATERIALS FROM THE QUARRY OF ANZU RIVER, TENA COUNTY, PROVINCE OF NAPO”

This work has as main objective to determine the module breakage of concrete and deflection in concrete beams merely assembled, with aggregates from the quarry of Ánzu River and LAFARGE cement. Experimentally we determine the properties of the components of concrete such as aggregates and cement, in order to perform the dosage of the mix with “The optimal Density of the Aggregates” method for a specific resistance of 24 MPa.

In order to determine the module breakage we used standard beams of 15 x 15 x 50 cm, the results experimentally obtained are compared with the theoretically values given by codes, the following equation was proposed for the aggregates of the quarry of “Ánzu River” and Lafarge cement “Selva Alegre Plus”.

$$fr = 3,02 \sqrt{f'_c} \quad \text{For } f'_c \text{ in kg/cm}^2$$
$$fr = 0.95 \sqrt{f'_c} \quad \text{For } f'_c \text{ in MPa}$$

The Deflections will be measured in concrete beams merely assembled of (15 x 25 x 250) cm. Same that were assembled with a minimum amount of bending in accordance with the norm ACI 318S-08, the deflections experimentally obtained will be compared with the maximum deflections allowed.

KEY WORDS:

QUARRY ANZU RIVER/ LAFARGE CEMENT/ CONCRETE MIX DESIGN/ NORM ASTM C-78/ MODULE BREAKAGE CONCRETE/ BEAMS MERELY ASSEMBLED OF CONCRETE

QUITO, 27 DE JUNIO DE 2014

CERTIFICADO

YO, ALEX PAUL ESCOBAR NAVARRO, EN CALIDAD DE DIRECTOR DE LA SUCURSAL ORELLANA DE BENEDICT INTERNATIONAL LANGUAGE SCHOOL DE QUITO CERTIFICO ESTAR EN TOTAL CAPACIDAD DE HACER TRADUCCIONES DE INGLES A ESPAÑOL Y ESPAÑOL A INGLES RESPALDANDOME EN MI TITULO UNIVERSITARIO OBTENIDO EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA DEL CUAL COPIO EL REGISTRO DEL SENESCYT.

Inicio Consulta de Institutos Educación Superior Consulta de títulos

Consulta de Títulos Registrados

Búsqueda por Apellidos

Búsqueda por Identificación (cédula/pasaporte) Buscar





ATENCIÓN


"La SENESCYT emitirá certificados impresos únicamente cuando sean requeridos para uso en el extranjero o para fines judiciales. El título emitido por cualquier Universidad o Instituto de Educación Superior existente en el Ecuador no requerirá validación alguna, ni del CES ni del SENESCYT."

(Reglamento General de Aplicación a la Ley Orgánica de Educación Superior, Art. 19)

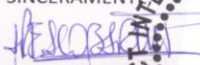
Nombre ESCOBAR NAVARRO ALEX PAUL
Identificación 1710855907
Nacionalidad ECUATORIANA
Genero MASCULINO

Títulos de Tercer Nivel						
Título	Institución de Educación Superior	Tipo	Reconocido Por	Número de Registro	Fecha de Registro	Observación
BACHELOR OF APPLIED SCIENCE SUPERVISION & MANAGEMENT	MMBDADE COLLEGE	EXTRANJERO	MMBDADE COLLEGE	6483R-13-18257	26-02-2013	

Síguenos en:    

ecuador  ama la vida

SINCERAMENTE



ALEX ESCOBAR NAVARRO, S.C.,
DIRECTOR BENEDICT INTERNATIONAL LANGUAGE SCHOOL

Benedict La Prensa
Edmundo Chiriboga N47-133
y Jorge Pérez
Telf: 243 2729

Benedict Orellana
Av. 9 de Octubre N27-09
y Orellana
Telf: 252 2767

Benedict San Rafael
Av. Rumiñahui 035
y Eja Transversal
Telf: 286 2183

Benedict Villaflores
Cristóbal Tenorio S9-463
y Alonso de Angulo
Telf: 266 6157

PBX: 255 0377 • info@benedictquito.com • www.benedictquito.com

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 ALCANCE E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a que el hormigón tiene alta resistencia a la compresión en comparación con la tracción, la presente investigación trata sobre la determinación del módulo de rotura del hormigón, alcanzando una resistencia especificada a la compresión de 24 MPa a los 28 días, y además incluye el cálculo de las deflexiones en vigas simplemente armadas.

Este estudio proporciona el procedimiento adecuado de cómo diseñar una mezcla de hormigón con los materiales procedentes del río Ánzu y cemento Lafarge (Selvalegre), para lo cual es necesario realizar los ensayos de todos los áridos y del cemento siguiendo las normas vigentes, para justificar que los materiales seleccionados son adecuados para la mezcla del hormigón propuesto.

Los hormigones a realizar deben tener suficiente plasticidad, consistencia y trabajabilidad, utilizando una cantidad apropiada de agua para el mezclado, y además teniendo en cuenta las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados.

También se deberán tener en cuenta los ensayos que se realizarán al hormigón tanto en estado fresco como cuando éste haya fraguado, obteniendo así consistencia, segregación y cohesión cuando el hormigón está fresco, y los resultados a la resistencia del hormigón en compresión, tracción y flexión, cuando el hormigón haya fraguado, determinando en este último los módulos de elasticidad y rotura, que constituyen como objetivo fundamental de esta investigación experimental.

Podemos considerar como un punto importante de análisis, la trabajabilidad del hormigón, ya que de ella depende en gran medida la calidad que se obtenga en el hormigón endurecido.

La importancia de esta investigación será la comparación entre la información obtenida experimentalmente de los ensayos tanto en compresión como en flexión de las vigas armadas, con la información teórica establecida a través de normas, para así poder tomar criterios acorde al análisis realizado y establecer las respectivas conclusiones, que también constituyen los objetivos de esta investigación.

Por otra parte la resistencia a la tracción del hormigón es muy importante, ya que la resistencia al corte del hormigón, la adherencia entre el hormigón y el acero y la fisuración por retracción y temperatura, dependen mucho de esta propiedad.

Con la información recopilada de los ensayos de los materiales utilizados como el cemento y agregados, la dosificación óptima comprobada, los resultados de los ensayos de las muestras ensayadas a compresión y flexión, podemos aportar en beneficio del desarrollo en la construcción de carreteras como de viviendas en la ciudad del Tena, de donde se obtuvieron las muestras de los agregados, e incluso utilizar esa información en proyectos de similares características.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el módulo de rotura del hormigón con una resistencia especificada a la compresión de 24 MPa ($f'_c = 24 \text{ MPa}$) y establecer las deflexiones de vigas simplemente armadas fabricados con cemento Selva Alegre y agregados procedentes de la cantera río Ánzu (Tena).

1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Realizar los ensayos correspondientes a los agregados y al cemento para esta investigación.
- Determinar si los agregados provenientes de la cantera río Ánzu presentan las características favorables para la elaboración de este hormigón.
- Realizar los cálculos de dosificación de las mezclas para el hormigón de $f'_c = 24 \text{ MPa}$ de acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos realizados al cemento y agregados.
- Determinar el módulo de elasticidad del hormigón de manera complementaria a este tema.
- Establecer los parámetros necesarios para el cálculo del módulo de rotura del hormigón, y además calcular las deflexiones que se producirán en las vigas.
- Comparar los valores del módulo de rotura del hormigón calculado teóricamente y establecido por las N.E.C., con los valores obtenidos experimentalmente durante los ensayos en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central del Ecuador.

1.3 PROYECCIÓN

El hormigón tiene una alta resistencia en compresión, comparativamente con su resistencia a la tracción que es baja, por lo cual en los cálculos de diseño estructural se

suele despreciar la resistencia en tracción del hormigón y asumir que toda la tracción es absorbida por el acero de refuerzo utilizado.

La resistencia en tracción por flexión del hormigón, es una magnitud muy variable. Su resistencia a la tracción directa (f_t) varía entre el 10% y el 15% de la resistencia en compresión (f'_c).

Nuestra proyección es establecer el valor del Módulo de Rotura del hormigón para una resistencia especificada de 24 MPa con materiales del río Ánzu, para poder a su vez compararlos con los valores obtenidos en anteriores investigaciones con materiales procedentes de otros lugares, determinando además las deflexiones que se presentarán en vigas simplemente armadas.

Con el propósito de obtener mejores resultados en la investigación, se siguieron algunas recomendaciones de ayuda para el mezclado del hormigón.

- Utilizar los resultados de laboratorio obtenidos de los ensayos de agregados y del cemento con el fin de realizar la mejor dosificación para alcanzar la resistencia de $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$.
- Controlar la humedad de los agregados, particularmente apilándolos en lugares protegidos contra la lluvia. En caso de no ser posible controlar los cambios de humedad y se debe verificar periódicamente su contenido rediseñando el agua de mezclado a fin de no dañar la resistencia y el asentamiento propuesto.
- Evitar en lo posible la utilización de agregados muy gruesos, porosos o que contengan sales o materiales orgánicos, ya que afectarían en la resistencia del hormigón a obtener.
- Evitar que la arena a utilizar contenga material orgánico y además, libre de impurezas.
- No utilizar cementos que se encuentren mal almacenados que presenten inicios de un proceso de fraguado, o que se encuentren abiertos las fundas.

CAPITULO 2

ESTUDIO DE LOS AGREGADOS

2.1 GENERALIDADES

Los agregados, también llamados áridos, son materiales de forma granular de origen natural o artificial. Los agregados de origen natural son el resultado de la desintegración natural o del desgaste de rocas produciéndose las arenas (finos) y gravas (gruesos). En cambio el proceso artificial es la trituración de las rocas obteniendo el ripio (gruesos) y los polvos de piedra (finos), los agregados constituyen el 75 % del volumen total del hormigón y que aglomerados por el cementante, conforman el esqueleto pétreo o granular del hormigón. Su estudio está más que justificado y deben cumplir con la especificación o norma INEN 872 (ASTM C33), porque de sus propiedades dependen la resistencia, rigidez y durabilidad del hormigón.

Según la Norma INEN 694 (ASTM C33), los agregados finos son arenas naturales o polvos de piedra de partículas que pasan la malla de 4,75mm (No. 4) y los agregados gruesos son aquellos de origen natural o triturados cuyas partículas se retienen en la malla No. 4 y pueden variar hasta 152 mm. “El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.”¹

Como agregados para hormigón se pueden considerar todos aquellos materiales que teniendo una alta resistencia mecánica, no alteran ni afectan las propiedades y características del hormigón y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida cementante, también es necesario que los agregados estén limpios, sean duros, libres de sustancias nocivas y durables, con una distribución granulométrica razonable uniforme que se encuentre dentro de los límites.

¹ <http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados.shtml>

Los agregados tanto finos como gruesos dentro del hormigón cumplen funciones importantes que son:

- El granulado debe ocupar el mayor volumen posible dentro del hormigón reduciendo el contenido de pasta.
- Es resistente a las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo que puedan actuar sobre el hormigón.
- Reduce los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.
- Debe contribuir a la economía de las mezclas por ser un material abundante y fácil de manipular.

En resumen los agregados deben ser resistentes, duros, limpios, estables, manejables, con una buena granulometría y no reactivos con el cemento.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN

En general los agregados se han clasificado de varias maneras, pero principalmente desde los puntos de vista de su procedencia, tamaño y gravedad específica.

2.2.1 POR SU PROCEDENCIA

De acuerdo con el origen de los agregados, según su procedencia ya sea de fuentes naturales o a partir de productos industriales, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Agregados Naturales**

Son aquellos agregados procedentes de la explotación de fuentes naturales tales como: depósitos de arrastres fluviales (arenas y gravas de río) o (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Pueden usarse tal como se hallen o variando la distribución de tamaños de sus partículas, si ello se requiere.

- **Agregados Artificiales**

Son productos obtenidos mediante la trituración de las rocas como es el ripio triturado (gruesos) y los polvos de piedra (finos), también se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como escorias de altos hornos, limaduras de hierro, cenizas del carbón, aserrín y viruta.

2.2.2 POR SU TAMAÑO

La forma más generalizada de clasificar los agregados es según su tamaño, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros de sección; ésta distribución del tamaño de las partículas, es lo que se conoce con el nombre de GRANULOMETRÍA.

Por su tamaño se pueden clasificar en agregado grueso y agregado fino.

- **Agregado Grueso.**

El agregado grueso también llamado grava, es producto de la desintegración de la roca o de la trituración de esta, en la cual sus partículas se retienen en la malla de 4,75 mm (No. 4).

- **Agregado Fino.**

El agregado fino llamado también arena, es el producto de la abrasión de la roca o de la trituración de esta, en donde sus partículas pasan la malla de 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en la malla 75µm (No. 200).

Una clasificación más específica es la que aparece en la siguiente tabla, donde se muestra los nombres más usuales de las fracciones y su aptitud para morteros o concretos según el tamaño de sus partículas.

TABLA N° 2.1. Clasificación de los Agregados según sus partículas.

TAMAÑO EN mm.	DENOMINACIÓN MÁS COMÚN	CLASIFICACIÓN	USO COMO AGREGADO DE MEZCLAS
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
0,002 – 0,074	Limo	Fracción fina	No recomendable
0,074 – 4,76 #200 - #4	Arena	Agregado fino	Material apto para mortero o concreto
4,76 – 19,1 #4 – ¾"	Gravilla	Agregado grueso	Material apto para concreto
19,1 – 50,8 ¾" – 2"	Grava		Material apto para concreto
50,8 – 152,4 2" – 6"	Piedra		
> 152,4 6"	Rajón, Piedra bola		Concreto ciclópeo

FUENTE: CONCRETO SIMPLE, Ing. Rivera Gerardo, Pág. 53

2.2.3 POR SU GRAVEDAD ESPECÍFICA G_s.

Los agregados se clasifican según su gravedad específica en pesados, livianos y normales.

- **Pesados**

“Tienen un peso unitario superior a los 2000 kg/m³ y provienen de rocas que contienen elementos pesados, por ejemplo, hierro, bario, plomo. Se los emplea para la elaboración de hormigones pesados para pantallas contra radiaciones.

- **Livianos**

Su peso unitario está por debajo de los 1000 kg/m³ (700 a 800 kg/m³) y con su uso se obtienen hormigones livianos.

- **Normales**

Son los agregados de uso más generalizado y en el 90 % de las construcciones se los utiliza. El peso unitario está comprendido entre 1000 a 1800 kg/m³.²

2.3 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS AGREGADOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

Los agregados en la mezcla cumplen un papel importante ya que de ellos depende la calidad y la resistencia del hormigón, para lo cual se deben obtener sus propiedades realizando los ensayos descritos según la norma INEN (ASTM C33) que son; la granulometría, la densidad específica, el peso específico, el módulo de finura, la abrasión, la capacidad de absorción.

2.3.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

La granulometría de un agregado, es la característica que más influye en la cantidad de pasta, para obtener una determinada trabajabilidad.

Considerando que el cemento es el más costoso de los componentes es preferible minimizar su uso, disminuyendo la cantidad de pasta sin afectar la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad del hormigón.

Cuando las partículas de los agregados tienden a un solo tamaño predominante, el agregado se considerará uniforme; en cambio, si las partículas tienden a una variedad equilibrada de tamaños, el agregado es bien graduado.

La cantidad de pasta necesaria dependerá entonces del volumen de vacíos y del área específica de las partículas.

² *TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN, Ing. Ma. Fernanda Carrasco, Año 2011, Pág. 7*

- **Análisis Granulométrico**

El análisis granulométrico se define como el proceso de clasificación por tamaños de una muestra de material utilizando para ello series de tamices estándar que siguen un determinado patrón de formación.

La serie más conocida en nuestro medio es la que ordena las mallas en forma de progresión geométrica de mayor a menor, esta serie se la conoce como la serie de Abrams; se debe obtener la masa del material retenido en cada malla con el fin de determinar la distribución de tamaños de sus partículas.

“Según la norma INEN 696 (ASTM – C33) el tamizado de los agregados finos y gruesos de deben realizar por los siguientes serie de mallas.

La serie de tamices q se utilizan para el ensayo del agregado grueso son: 3”, 2”, 1½”, 1”, 1/2”, 3/8”, N° 4, N° 8, N° 16, N° 30 y bandeja; mientras que para el agregado fino son: 3/8”, N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200 y bandeja.”³

- **Curva Granulométrica**

Es la representación gráfica de la distribución granulométrica del agregado para una mejor interpretación de los resultados.

La curva granulométrica se representa generalmente sobre el eje de las ordenadas el porcentaje acumulado que pasa, en escala aritmética; y en las abscisas la abertura de los tamices en escala logarítmica.

³ INVESTIGACIÓN SOBRE EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN, Ing. Marco Garzón, Año 2010, Pág. 9

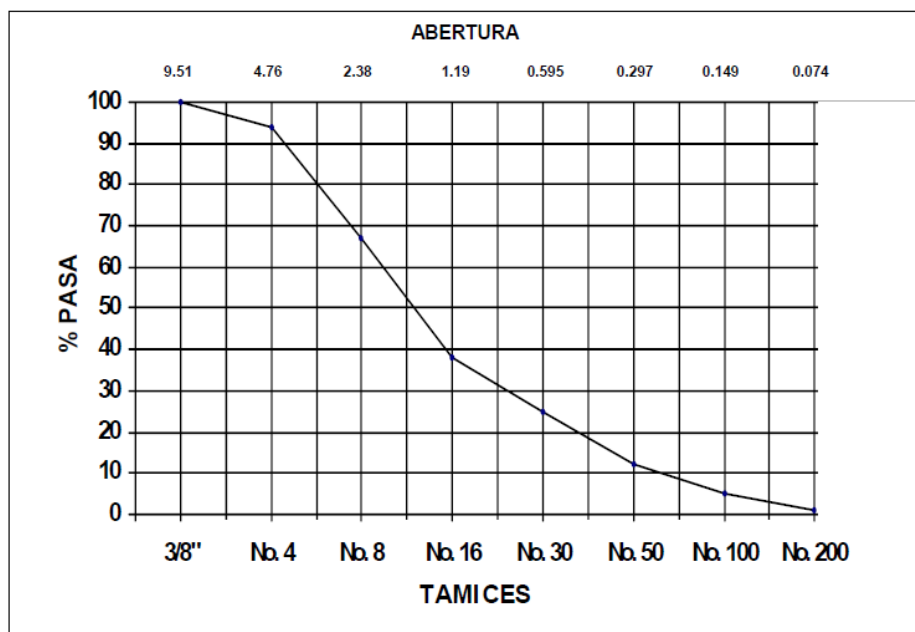
A manera de ejemplo representamos la granulometría dada.

TABLA N° 2.2. Análisis Granulométrico

TAMIZ mm - pulg.	MASA RETENIDA g	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
9,51 - 3/8"	0	0	0	100
4,76 - No. 4	127,8	6	6	94
2,38 - No. 8	575,1	27	33	67
1,19 - No. 16	617,7	29	62	38
0,595 - No. 30	277,0	13	75	25
0,297 - No. 50	276,8	13	88	12
0,149 - No. 100	149,1	7	95	5
0,074 - No. 200	85,2	4	99	1
Fondo	21,3	1	100	0
TOTAL	2130	100	---	---

FUENTE: CONCRETO SIMPLE, Ing. Rivera Gerardo, Pág. 59

FIGURA N° 2.1. Curva Granulométrica



FUENTE: CONCRETO SIMPLE, Ing. Rivera Gerardo, Pág. 59

- **Módulo de Finura**

El módulo de Finura o de Fineza establecido por Duff Abramas (1925) expresa en forma práctica el grosor o finura del material, definiendo como módulo de finura “al número que resulta de dividir por 100 la suma de porcentajes retenidos en forma acumulada en los tamices de la serie estándar, estableciendo la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Acumulados Retenidos } (1\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Ecuación 2.1 Módulo de Finura.

El módulo de finura es mayor a medida que el agregado es más grueso.

“El Agregado fino tiene un módulo de finura que varía entre 2,2 a 3,2; para un tamaño intermedio entre 3,3 y 5,0 (gravilla) y para el agregado grueso, mayor a 5,0. Para casos especiales como por ejemplo morteros de inyección, el módulo de finura del agregado fino puede variar entre 1,6 a 2,4, siempre y cuando el agregado esté exento de materiales perjudiciales.”⁴

- **Tamaño Nominal**

“Es el tamaño con el cual se identifica al agregado grueso y se determina por el siguiente tamiz de abertura mayor al cual se retiene el 10% o más de agregado en el ensayo granulométrico.”⁵

⁴ *TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN, Ing. Ma. Fernanda Carrasco, Año 2011, Pág. 12*

⁵ *INVESTIGACIÓN SOBRE EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN, Ing. Marco Garzón, Año 2010, Pág. 10*

Correcciones Granulométricas

“Estas se realizan si la curva granulométrica no cumple con los respectivos límites. La corrección del agregado se logra mezclando la muestra con otros agregados o determinando por tamices los tamaños presentes y mezclándolos según el peso requerido en cada tamiz.”⁶

2.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS

- **Densidad de los Agregados**

Los agregados generalmente presentan un cierto grado de porosidad, mientras más poroso sea el agregado es menos resistente pero es de alta absorción, además al estar en conjunto también dejan una cierta cantidad de vacíos entre partículas. La densidad de los agregados es importante en los casos que se busca diseñar hormigones de bajo o alto peso unitario. Se definen bajo este criterio los siguientes conceptos:

Densidad de Volumen en Estado Seco (Absoluta)

“La densidad de volumen absoluta se define como la relación que existe entre el peso de la masa del agregado (M_s) y el volumen que ocupa única y exclusivamente la masa sólida (V_s), o sea que se excluyen todos los vacíos y los poros, saturables y no saturables.”⁷

$$D_a = \frac{M_s}{V_s}$$

Ecuación 2.2 Densidad volumen seco.

⁶ DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LAS CANTERAS DE PIFO, SAN ANTONIO DE PICHINCHA Y GUAYLLABAMBA, Autores: Morales Edison, Morocho José, Porras Erick, Sánchez Nelson, Ecuador 2012, Pág. 7-8.

⁷ <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html>

Densidad Aparente

“La densidad aparente está definida como la relación que existe entre el peso de la masa del material (M) y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros saturables y no saturables (Va).”⁸

$$Dap = \frac{M}{Va}$$

Ecuación 2.3 Densidad Aparente.

Densidad de Volumen en Estado SSS

“Es la relación entre la masa del agregado sólido en estado saturado superficie seca (Msss), para el volumen del material sólido, incluyéndose el volumen de los poros permeables están saturados de humedad (Vsss).

$$Dsss = \frac{Msss}{Vsss}$$

Ecuación 2.4 Densidad Estado SSS.

- **Densidad Aparente Máxima**

Se refiere a la mezcla de agregados grueso y fino en proporciones adecuadas que generen una máxima masa unitaria que dejará la menor cantidad de vacíos a ser ocupados por la pasta.

⁸ <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html>

- **Densidad Óptima**

Esta densidad es la que se ocupará en el diseño de hormigones y se obtiene al reducir un 4% del porcentaje de finos correspondiente a la densidad máxima en la curva granulométrica.”⁹

- **Porosidad y Capacidad de Absorción**

La porosidad está relacionada con la capacidad de absorción de agua de los agregados y varía de acuerdo con el tamaño de los poros, su continuidad y su volumen total.

- **Porosidad**

Es la medida de la cantidad de espacios no ocupados por materia sólida. La porosidad del agregado es una cualidad muy importante, directamente relacionada con la adherencia y resistencia a la compresión y flexión de las partículas, así como a su comportamiento frente a problemas de congelamiento, deshielo e intemperismo.

- **Capacidad de Absorción**

Se define como la capacidad que tiene el agregado para almacenar agua en sus poros saturables y no saturables; también se define como la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergida durante 24h en agua, expresada como un porcentaje del material seco.

⁹ DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LAS CANTERAS DE PIFO, SAN ANTONIO DE PICHINCHA Y GUAYLLABAMBA. – Autores: Morales Edison, Morocho José, Porras Erick, Sánchez Nelson., Ecuador 2012, Pág. 8

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%Absorcion = \frac{Peso\ SSS - P_s}{P_s} \times 100$$

Ecuación 2.5 Capacidad de Absorción.

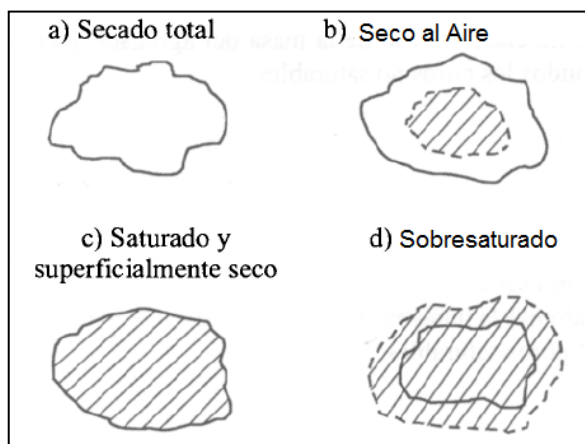
Donde:

Peso SSS = Peso Saturado Superficie Seca

P_s = Peso Seco

Consideramos los siguientes estados según el contenido de humedad de las partículas:

FIGURA N° 2.2. Diferentes Estados de Saturación del Agregado



FUENTE: EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN, Ing. Livia Gutiérrez, Pág. 22

- a) Secado Total: los poros de las partículas están exentas de agua, para eliminar el agua se coloca en la estufa a 110°C durante 24 horas, este estado solo se obtiene en laboratorio.
- b) Seco al Aire: es un estado que se encuentra en la naturaleza, esta entre el estado seco y saturado superficie seca; en este estado las partículas no tienen humedad superficial y los poros permeables se encuentran parcialmente llenos de agua.

- c) Saturado y Superficie Seca (SSS): conocido como el estado SSS, en este estado no existe humedad superficial y los poros se encuentran llenos de agua; es un estado que se puede obtener solo en laboratorio.
- d) Sobresaturado: es un estado que se encuentra en la naturaleza donde los poros permeables de la partícula están llenos de agua y con humedad superficial.

- **Peso Unitario**

“Se define como peso unitario al resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de las partículas dejando el menor espacio entre ellas; el procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C29.”¹⁰

El mayor peso unitario se tendrá cuando quepa más material dentro del mismo volumen, lo que depende naturalmente de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado.

- **Porcentaje de Vacíos**

“Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario.”¹¹

Se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo:

$$\% \text{ Vacios} = \frac{SxW - P.U.C}{SxW} \times 100$$

Ecuación 2.6 Porcentaje de Vacíos.

¹⁰ <http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados2.shtml>

¹¹ <http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados2.shtml>

Donde:

S = Peso Específico de masa

W = Densidad del agua

P.U.C = Peso Unitario Compactado Seco del Agregado

- **Humedad**

“Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla.”¹²

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso Natural} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

Ecuación 2.7 Humedad.

2.3.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

- **Resistencia**

La resistencia al desgaste de un agregado se usa con frecuencia como indicador de la calidad del agregado, por lo general los agregados tienen una resistencia superior a la pasta de cemento dando así la resistencia al hormigón, esta característica es esencial cuando el agregado se va a usar en concreto sujeto a desgaste como en el caso de los pavimentos rígidos.

¹² <http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados2.shtml>

- **Tenacidad**

Es la resistencia del agregado a la falla de impacto, y tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, porque si estos son débiles al impacto pueden alterar su granulometría y por consiguiente la calidad de la obra. Está directamente relacionada con la flexión, angulosidad y textura del material.

- **Adherencia**

La adherencia del agregado es una propiedad importante ya sea para el concreto hidráulico o el concreto asfáltico, ya que de ella depende la resistencia y durabilidad debido al aglutinamiento del agregado con el material cementante (pasta de cemento o asfalto). La adherencia del agregado depende de la forma, textura y tamaño de las partículas.

- **Dureza**

Se define como dureza de un agregado a la resistencia que ofrece el agregado a la acción del roce y al desgaste diario. Los agregados empleados en carreteras y pisos, deben ser especialmente resistentes al desgaste.

- **Módulo de Elasticidad**

“Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones.”

13

¹³ <http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados2.shtml>

CAPITULO 3

ESTUDIO DEL CEMENTO

3.1 GENERALIDADES

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla llamándose Clinker, calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso en un 3 al 5%, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse.

3.1.1 EL CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO TIPO IP

Se entiende por puzolana, en sentido estricto, al material silicoso o sílico-aluminoso que por sí sola no tiene ninguna propiedad cementante, pero finamente pulverizado y en presencia del agua, reacciona químicamente con la cal para producir compuestos con poder cementante. Pueden ser artificiales o naturales como son la ceniza volcánica, ceniza volante, arcilla quemada, la puzolana original, tierras diatomáceas, piedra pómez, esquistos de opalina.

El cemento portland puzolánico “se obtiene por la pulverización conjunta de una mezcla de Clinker portland y puzolana con la adición eventual de sulfato de calcio. El contenido de puzolana debe estar comprendido entre 15% y 40% en peso del peso total.” ¹⁴

Este tipo de cemento es de uso general en la construcción donde no se requiere que el cemento tenga alguna propiedad particular.

¹⁴ <http://es.scribd.com/doc/77307480/Cemento-Portland-Puzolanico-Tipo-IP>

Las ventajas de mezclar la puzolana con el cemento portland son las siguientes:

- Reduce el calor de hidratación y produce mezclas más trabajables mejorando la plasticidad del hormigón.
- Aumenta la resistencia a ambientes agresivos.
- Incrementa notablemente la resistencia del hormigón después de los 28 días de edad.
- Reacción tardía con el hidróxido de calcio formando compuestos cementantes fijando la cal y evitando que esta se combine con elementos agresivos como los sulfatos.
- Reducción de las porosidades y por tanto de la permeabilidad haciendo al hormigón más compacto.
- Elimina o reduce las consecuencias de la reactividad álcali-sílice.

3.1.2 ORIGEN Y APARICIÓN EN EL ECUADOR

- **Origen**

El cemento nace de la necesidad del hombre por tener un espacio físico donde pueda protegerse del agua, sol, viento, así como buscando la seguridad personal. Comienza en el año 700 A. C., donde se emplearon pastas y morteros elaborados con arcilla o greda, yeso y cal para unir mampuestos en las edificaciones.

“En torno al siglo I, los romanos perfeccionaron este "aglomerante", al añadir tierra volcánica procedente de la región de Pozzuoli, cerca de Nápoles dando origen al cemento puzolánico. Así, descubrieron que podían utilizar esta mezcla para que fraguara bajo el agua.

En 1817, el joven ingeniero Louis Vicat trabajaba sobre las propiedades hidráulicas de una mezcla de "cal y ceniza volcánica". Vicat fue el primero en determinar de forma precisa, controlada y reproducible las proporciones de piedra caliza y sílice necesarias

para obtener una mezcla que, tras su combustión a una temperatura específica y tras ser molida, produjera un aglomerante hidráulico con aplicaciones industriales. En otras palabras, descubrió el cemento. No obstante, publicó los resultados de su investigación sin presentar una solicitud de patente.

En 1824, el escocés Joseph Aspdin refinó la composición del cemento desarrollada originalmente por Louis Vicat y, presentando una patente para un cemento de fraguado más lento. Lo llamó Portland porque presentaba un cierto parecido con un tipo de roca que se puede encontrar en la región del mismo nombre, al sur de Inglaterra.

A partir de este evento, la primera fábrica de cemento de Francia se construyó en 1846 en Boulogne-sur-Mer. En Sudamérica, el primer país en introducir el Cemento Portland al mercado fue Brasil en el año de 1888”¹⁵

- **Aparición en el Ecuador**

“El cemento Portland aparece en Ecuador en el año de 1923, siendo la primera empresa cementera Industrias y Construcciones con su primera planta en funcionamiento en la ciudad de Guayaquil comercializando el cemento con la marca cóndor con una producción de 3000 toneladas/año.”¹⁶

En nuestro país el cemento de más consumo es el cemento portland IP, que se elabora bajo la norma INEN 490 (ASTM C 595), ya que la adición de puzolanas al cemento es indispensable para contrarrestar el efecto de los sulfatos presentes tanto en suelos como en aguas freáticas.

Hoy en día en el Ecuador existen 4 empresas en la producción de cemento como son:

¹⁵ http://www.lafarge.com.ec/wps/portal/ec/2_2_3-History

¹⁶ <http://www.docstoc.com/docs/3246090/LA-INDUSTRIA-DEL-CEMENTO-EN-ECUADOR>

- HOLCIM ECUADOR S.A. – Ubicado en Latacunga, Guayaquil.
- LAFARGE CEMENTOS S.A. - Ubicado en Otavalo
- INDUSTRIAS GUAPAN S.A. – Ubicado en Azogues
- CEMENTO CHIMBORAZO C.A. – Ubicado en Riobamba

3.2 PROPIEDADES BÁSICAS DEL CEMENTO

El cemento tiene diferentes propiedades ya sea en forma al granel (polvo) o cuando ya se haya mezclado con el agua (pasta de cemento), por lo que para obtener esas propiedades se deben realizar diversas pruebas en los laboratorios según la norma correspondiente de cada país. Las propiedades mecánicas y físicas del cemento hacen que el hormigón desarrolle resistencia mecánica y sea durable ante las condiciones de exposición a las que será sometido, por lo tanto, el conocimiento de algunas de estas propiedades es provechoso para interpretar los resultados de las pruebas del cemento.

Las propiedades físicas y mecánicas del cemento son las siguientes:

- **Densidad Específica (Peso Específico)**

La densidad del cemento se determina siguiendo la norma ASTM C180 - (INEN 156), definiendo como “la relación entre una masa de cemento y el volumen de líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Le Chatelier.”¹⁷

“El valor de la densidad del cemento Portland varía generalmente entre 2,90 y 3,20 g/cm³ dependiendo básicamente de la cantidad y densidad del material puzolánico que se adicione. La densidad de un cemento no indica la calidad del mismo; su uso principal radica en dosificación y control de mezclas.”¹⁸

¹⁷ Norma INEN 156:2009 – 2da Revisión

¹⁸ CONCRETO SIMPLE, Ing. Gerardo Rivera, Pág. 26

- **Superficie Específica (Finura)**

Se define como “el área superficial exterior de las partículas contenidas en un gramo de cemento y se expresa en unidades de masa como cm^2/g o m^2/kg .”¹⁹

Es una de las propiedades más importantes del cemento ya que influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación y por lo tanto mayor desarrollo de su resistencia, es decir que “los granos de cemento se hidratan solo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que si fuesen muy gruesos su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte.”²⁰

Para determinar la finura de un cemento seguimos la norma INEN 196, en donde utilizamos diferentes métodos entre ellos tenemos: la prueba de Blaine y el turbidímetro Wagner.

- **Consistencia Normal**

La consistencia normal se define como el contenido de agua exacto que debe tener una pasta de cemento para tener una plasticidad, se expresa en porcentaje con respecto al peso del cemento seco. Tiene relación con la calidad del cemento y el tiempo de fraguado. El requerimiento de agua varía entre distintos cementos y puede llegar a variar de un 20% a 30%

Para determinar la consistencia normal se utiliza el aparato de Vicat, cuyo procedimiento se encuentra en la norma INEN 155 - 157

¹⁹ INVESTIGACIÓN SOBRE EL MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN, Ing. Marco Garzón, Año 2010, Pág. 16

²⁰ HORMIGÓN ARMADO; Montoya, Meseguer, Moran; 7ma Edición, Pág. 18

- **Tiempos de Fraguado**

El término fraguado es utilizado con referencia al paso de la mezcla de un estado fluido o plástico al estado sólido. Aunque durante el fraguado la pasta adquiere alguna resistencia, para efectos prácticos es conveniente distinguir el fraguado del endurecimiento, pues este último término se refiere al incremento de resistencia de una pasta de cemento fraguada.

Durante el fraguado hay que distinguir dos fases que son “fraguado inicial” y “fraguado final” que nos hace conocer el tiempo durante el cual la pasta permanece plástica y por tanto es trabajable. El principio de fraguado se caracteriza por iniciarse la rigidez de la pasta y el final del mismo viene caracterizado por la pérdida de plasticidad de la pasta.

“El fraguado es un proceso exotérmico que va acompañado de cambios de temperatura en la pasta del cemento: el fraguado inicial corresponde a un rápido aumento en temperatura y el final, al máximo de temperatura.”²¹

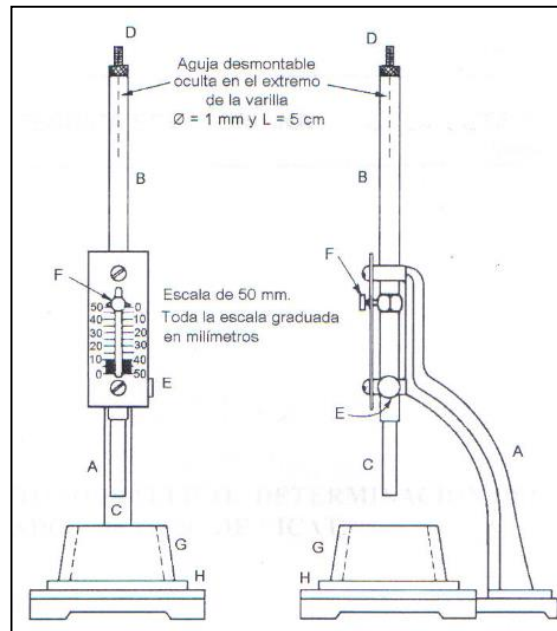
Va a depender de varios factores que son:

- La composición química del cemento.
- La cantidad de agua (a mayor cantidad mayor rapidez).
- La temperatura ambiente: A menor temperatura se produce un ralentizamiento del proceso. Sin embargo por encima de los 32 grados el aumento de velocidad se invierte.
- La finura del material.

Para determinar el tiempo de fraguado se utilizan los aparatos de Vicat y Guillmore, cuyos procedimientos se explican en la norma INEN 158 – 159; ASTM C191 – C266, respectivamente.

²¹ *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO, Adam M. Neville, 3ra Edición, Pág. 37*

FIGURA N° 3.1. Aparato de Vicat para determinar la Consistencia Normal y el tiempo de Fraguado del Cemento



FUENTE: NORMA INEN 157:2009; 2da Revisión.

- **Falso Fraguado**

“Se da el nombre de falso fraguado a una rigidez prematura y anormal del cemento, que se presenta dentro de los primeros minutos después de haberlo mezclado con agua.”²²

Se diferencia de la anterior en que no despidе calor de forma apreciable y desaparece al mezclar nuevamente la pasta.

- **Sanidad**

La sanidad se refiere a la capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado. La expansión destructiva retardada o falta de sanidad es provocada por un exceso en las cantidades de cal libre o de magnesia.

El ensayo se describe en la norma ASTM – C151; INEN 200.

²² CONCRETO SIMPLE, Ing. Gerardo A. Rivera, Pág. 30

- **Resistencia del Cemento**

La resistencia mecánica del cemento endurecido es la propiedad del material más importante en cuanto a los requisitos de usos estructurales, existiendo varias formas de ensayos de resistencia: compresión directa, tensión directa, y flexión.

Esta propiedad depende de su finura, composición química, el grado de hidratación, así como el contenido de agua de la pasta.

Para determinar la resistencia del cemento se realiza el ensayo según la norma INEN – 488.

- **Calor de Hidratación**

Se define como al calor generado cuando reacciona el cemento con el agua durante el proceso de fraguado, la cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento y del espesor del elemento elaborado.

3.3 TIPOS DE CEMENTO

Según la norma INEN 152 (ASTM - C150) clasifica al cemento portland en los siguientes tipos:

- **TIPO I:** cemento de uso común, se usa en obras donde no se requieren propiedades especiales. La resistencia de diseño se obtiene a los 28 días.
- **TIPO IA:** cemento con incorporador de aire, con el mismo uso del Tipo I.
- **TIPO II:** es de uso general, especialmente cuando se requiere un moderado calor de hidratación y una moderada resistencia a los sulfatos. La resistencia de diseño se asume a los 42 días.

- **TIPO IIA:** cemento con incorporador de aire, con el mismo uso del Tipo II.
- **TIPO III:** cemento con mayor finura que los demás, siendo de fraguado rápido. Se utiliza en obras donde se requiere alta resistencia inicial o temprana.
- **TIPO IIIA:** cemento con incorporador de aire, con el mismo uso del Tipo III.
- **TIPO IV:** cemento de bajo calor de hidratación, ideal para hormigones masivos, tiene buena resistencia a los sulfatos.
- **TIPO V:** cemento de alta resistencia a la acción de los sulfatos, se utiliza en obras portuarias, alcantarillas, canales, etc., debido a la acción severa de las aguas marinas y sulfatadas.

Además de estos tipos de cementos portland, a los cementos hidráulicos compuestos se clasifican de acuerdo a la norma INEN 490 (ASTM – C595) que son los siguientes:

- **TIPO IS:** cemento portland de escoria de altos hornos.
- **TIPO IP:** cemento portland puzolánico.
- **TIPO IT:** cemento compuesto ternario.
- **TIPO P:** cemento portland puzolánico de fraguado lento.
- **TIPO IP (M):** cemento portland puzolánico modificado.
- **TIPO S:** cemento de escorias.

La norma INEN 1806 (ASTM – C91) clasifica a los cementos hidráulicos por desempeño en los siguientes:

- **TIPO GU:** Para uso general.
- **TIPO HE:** Alta resistencia Inicial.
- **TIPO MS:** Resistencia moderada a los Sulfatos.
- **TIPO HS:** Resistencia Alta a los Sulfatos.
- **TIPO MH:** Moderado calor de hidratación.
- **TIPO LH:** Bajo calor de hidratación.

También tenemos los cementos para mampostería que se detallan en la norma INEN 1806 (ASTM – C91) que son los siguientes:

- **TIPO N:** para uso en la preparación de mortero TIPO N y para mortero TIPO S según la INEN 2518.
- **TIPO S:** para uso en la preparación de mortero TIPO S según la INEN 2518.
- **TIPO M:** para uso en la preparación de mortero TIPO M según la INEN 2518.

En nuestro país el cemento portland tipo I y portland tipo IP se fabrican en la actualidad, mientras que el resto de cementos se fabrican solo bajo pedido según el tipo de obra a realizarse.

3.4 CEMENTOS LAFARGE

3.4.1 DESCRIPCIÓN

“Conocido como Cemento Selva Alegre Plus, es un cemento Portland Puzolánico tipo IP que cumple con la norma NTE INEN 490 (Norma Técnica Ecuatoriana) y ASTM C – 595, se utiliza en obras estructurales y construcciones de hormigón en general. Además cuenta con certificado de conformidad con sello de calidad INEN y posee licencia ambiental.

3.4.2 CARACTERÍSTICAS

- **Resistencias**
 - ✓ Permite alcanzar fácilmente las resistencias a la compresión requeridas a todas las edades.
 - ✓ En condiciones normales se pueden obtener resistencias a la compresión entre 45 y 50 MPa.
 - ✓ Posee un progresivo crecimiento de las resistencias aún después de los 28 días de edad, puede alcanzar hasta un 20 % más a los 90 días.
- **Resistencia a Agentes Agresivos**
 - ✓ Por su mayor compacidad, los hormigones o morteros son menos permeables e impiden el acceso de agentes agresivos como son: aguas salinas, suelos sulfatados, desechos industriales, aguas servidas, etc.
 - ✓ Para aplicaciones con altas concentraciones de sulfatos se puede agregar ciertos minerales a Selva Alegre Plus.

✓ Contrarresta la reacción álcali-sílice.

- **Calor de Hidratación**

✓ Desprende menos calor de hidratación que los cementos puros, permitiendo manejar grandes masas de hormigón.

- **Durabilidad**

✓ Una de las características más importantes del cemento Selvalegre Plus es la durabilidad, que es consecuencia de su resistencia a agentes agresivos y su continuo crecimiento de resistencia aún después de los 28 días.

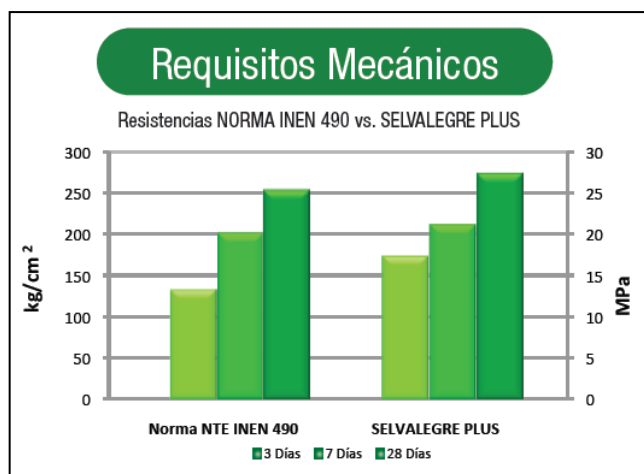
- **Presentación**

✓ Sacos de 50 kg.”²³

Podemos comparar los requisitos mecánicos, químicos y físicos del cemento Selva Alegre con los establecidos en la norma INEN 490.

²³ http://www.lafarge.com.ec/ficha_tecnica_LAFARGE.pdf

FIGURA N° 3.2. Requisitos Mecánicos del Cemento Selva Alegre Plus - Lafarge



FUENTE: http://www.lafarge.com.ec/ficha_tecnica_LAFARGE.pdf

TABLA N° 3.1. Requisitos Físicos del Cemento Selva Alegre Plus - Lafarge

Requisitos Físicos		
PARÁMETRO	INEN 490	SELVALEGRE PLUS
Fraguado inicial	$\geq 45 \leq 420$ min	140 min
Expansión	$\leq 0,8 \%$	0,04%
Contenido del aire	$\leq 12 \%$	4,50%

FUENTE: http://www.lafarge.com.ec/ficha_tecnica_LAFARGE.pdf

TABLA N° 3.2. Requisitos Químicos del Cemento Selva Alegre Plus - Lafarge

Requisitos Químicos		
PARÁMETRO	INEN 490	SELVALEGRE PLUS
Pérdida por calcinación	$\leq 5 \%$	1,4%
Magnesio (MgO)	$\leq 6 \%$	2,3%
Sulfatos (SO3)	$\leq 4 \%$	2,4%

FUENTE: http://www.lafarge.com.ec/ficha_tecnica_LAFARGE.pdf

3.4.3 APLICACIONES

“Con este producto se pueden elaborar hormigones para la construcción de:

- ✓ Edificios: incluidos todos sus elementos.
- ✓ Obras viales: puentes, viaductos, obras de arte.
- ✓ Muros, represas.
- ✓ Obras sanitarias e hidráulicas.
- ✓ Obras civiles en la industria petrolera.
- ✓ Obras marítimas y portuarias.
- ✓ Morteros para múltiples aplicaciones.

3.4.4 PRECAUCIONES

- **Almacenamiento**

- ✓ Evitar contacto directo con el suelo.
- ✓ Evitar contacto con las paredes perimetrales de la bodega.
- ✓ En ambientes húmedos asegurar una ventilación adecuada.
- ✓ No exceder los 60 días de almacenamiento.

- **Para aplicación**

- ✓ Emplear dosificaciones de hormigón diseñadas en un laboratorio calificado.
- ✓ Corregir periódicamente las mezclas para mantener constante el ratio a/c (la relación agua/cemento).
- ✓ Iniciar el curado lo más pronto posible y evitar desecación.”²⁴

²⁴ http://www.lafarge.com.ec/ficha_tecnica_LAFARGE.pdf

CAPITULO 4

EL HORMIGÓN

4.1 GENERALIDADES

“Se define al hormigón como una roca artificial, que podemos dar la forma de acuerdo a las necesidades previstas, está compuesto de una matriz cementante que mantiene ligadas a las partículas de un material granular generalmente de origen pétreo.”²⁵; que al endurecerse forma un sólido compactado y después de un cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos en compresión, entre otros.

En conclusión el hormigón es un material compuesto con unas propiedades dependientes de la pasta de cemento, de los agregados y de la interface de ambos.

Los componentes del hormigón son: la pasta de cemento (agua + cemento) y el material de relleno que son los agregados (agregado fino + agregado grueso) y porosidades (aire).

Cada componente cumple funciones específicas dentro de la mezcla del hormigón, que lo describimos a continuación:

- ✓ La pasta de cemento llena los espacios vacíos dejados por los agregados dando cohesión entre ellos para formar una masa compacta, además provee de lubricación a la masa de hormigón dándole resistencia cuando esta fragüe.
- ✓ Los agregados sirven de relleno en el hormigón debido a que son resistentes a la abrasión y aplicación de cargas, además reducen los cambios volumétricos, las expansiones y la retracción del fraguado.

²⁵ DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 1

Para formar un hormigón adecuado debemos colocar los materiales con las cantidades correctas dependiendo de la resistencia que se desea obtener, para lo cual establecemos las siguientes proporciones de materiales que debe tener el volumen de hormigón:

- ✓ El aire y el agua libre debe estar en una proporción entre el 1% a 6%.
- ✓ La pasta de cemento debe estar en la proporción entre el 20% a 25 %.
- ✓ El agregado fino (arena) debe entrar en la proporción entre el 25% a 35%.
- ✓ EL agregado grueso (ripio) debe entrar en la proporción entre el 35% a 55%.

Eventualmente se añaden aditivos que modifican alguna de las propiedades del hormigón.

4.2 MÉTODOS DE DISEÑO

Diseñar básicamente un hormigón, es encontrar las cantidades necesarias de cada uno de sus componentes: agua, cemento, agregado fino, agregado grueso; que deben combinarse para producir una mezcla que cumpla con ciertas propiedades físicas y mecánicas tanto en el hormigón fresco como en el hormigón endurecido.

La mezcla de hormigón diseñado debe cumplir con las condiciones de trabajabilidad, consistencia, resistencia, durabilidad, economía, y otras que se impongan previamente.

Aunque muchas de las propiedades de los hormigones son importantes, la mayoría de los métodos están dirigidos a la obtención de cierta resistencia a la compresión con una consistencia determinada. Se asume que, si esto se logra con éxito y el hormigón está bien especificado, las otras propiedades también serán satisfactorias.

Cada diseño de hormigón está en función de los materiales que se van a utilizar y de la obra particular que se va a construir con esta mezcla.

Debemos tomar en cuenta los siguientes aspectos para llegar a determinar la dosificación que son: la disponibilidad de los materiales, su costo de extracción y manipuleo, las condiciones donde se va a desenvolver el personal y el equipo a utilizar, las características de la obra, la trabajabilidad del hormigón durante la colocación y el compactado.

Existen muchos métodos y reglas para dosificar teóricamente un hormigón, pero son más que orientativos. Para conocer las proporciones correctas de los componentes de la mezcla deben establecerse mediante ensayos en laboratorio, para luego corregir la dosificación en obra.

Los métodos de diseño de hormigones son:

- ✓ Práctica Recomendada para Dosificar Hormigón Normal (ACI 211.1).
- ✓ Método de la Densidad Óptima de los Agregados.

Una vez obtenido las cantidades reales de la dosificación, podemos expresarlos en masa, considerando que los granulados se encuentran en estado sss y tomando como la unidad la masa del cemento, así tenemos:

Agua: Cemento: Arena: Ripio

0,40: 1,00: 2,00: 3,00

Donde el primer valor de 0,40 representa la relación agua/cemento, es decir que tenemos 0,40 kg o litros de agua, 1,00 kg de cemento, 2,00 kg de arena y 3,00 kg de ripio. Si hay la adición de aditivo este se expresa separadamente al igual que el aire atrapado o incluido

4.3 PARÁMETROS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Al elaborar un diseño de mezclas se debe tener en cuenta ciertos parámetros de trabajo que deben cumplirse en el hormigón fresco como en el hormigón endurecido.

Aquí detallamos algunos parámetros que se deben obtener al diseñar la mezcla de hormigón.

4.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión se define como la capacidad que tiene el hormigón de soportar cargas axiales en una determinada área, se lo representa en (kg/cm^2) o en el sistema internacional S.I que son los (MPa).

Es una de las propiedades físicas del hormigón endurecido, utilizada para fines estructurales, pero no siempre es la más importante. Siendo la resistencia a los agentes agresivos como las aguas saladas, sulfatadas, congelación y deshielo lo que debemos tener como prioridad.

Al endurecerse el hormigón, su resistencia es mayor durante el periodo inicial y tiende a disminuir gradualmente en el tiempo, lo cual es parte de su reología.

Para determinar la resistencia a la compresión en laboratorio se debe seguir la norma ASTM C39, Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Hormigón; estas probetas son cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura o se puede utilizar cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, dependiendo del tamaño del agregado, se coloca en la maquina universal y aplicamos cargas axiales obteniendo el valor de la resistencia especificada a la compresión f'_c del cilindro de hormigón.

Para obtener la resistencia especificada (f'_c) en obra, el calculista debe mayorar la resistencia de diseño, a esta resistencia se le conoce como resistencia a la compresión promedio requerida (f'_{cr}).

Para un mejor análisis de los resultados de resistencia a la compresión del hormigón, debemos ensayar cilindros a compresión a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, considerando el valor obtenido a los 28 días como la resistencia del hormigón especificada.

4.3.2 RELACIÓN AGUA/CEMENTO

La relación agua/cemento también conocida como razón agua/cemento (a/c), se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón, también es uno de los factores principales dentro del diseño de hormigón, ya que influye en la resistencia, durabilidad y la retracción del hormigón.

Una relación agua/cemento baja, conduce a un hormigón de mayor resistencia que una relación agua/cemento alta. Pero entre más alta esta relación, el hormigón se vuelve más trabajable pero menos resistente.

La relación agua/cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua/cemento tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

Para diseñar un hormigón debemos analizar la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días en función de la relación agua/cemento, para lo cual el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos de la Universidad Central del Ecuador, ha realizado una tabla donde propone la relación agua/cemento con su respectiva resistencia a la compresión que se debe obtener a los 28 días.

La investigación realizada por el Laboratorio de la UCE es conveniente en nuestro estudio ya que se ha usado Cemento Portland Puzolánico Tipo IP, siendo este tipo de cemento el más comercializado y utilizado en todo el Ecuador.

TABLA N° 4.1. Relación Agua/Cemento para diferentes Resistencias del Hormigón.

RELACIÓN AGUA/CEMENTO	RESISTENCIA PROBABLE A LOS 28 DÍAS f'_c (MPa)
0,37	45
0,40	42
0,42	40
0,46	35
0,50	32
0,51	30
0,52	28
0,55	25
0,56	24
0,58	21
0,60	18

FUENTE: Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos – Universidad Central del Ecuador

“Debemos tener en cuenta que para relaciones agua/cemento menores a 0,50 debemos utilizar aditivos plastificantes de alto rendimiento empleado como reductor de agua.”²⁶

4.3.3 DOCILIDAD

La docilidad o trabajabilidad, se define como la mayor o menor facilidad que presenta un hormigón fresco para ser manipulado, transportado, colocado y compactado; siendo la propiedad más importante del hormigón fresco ya que de ella depende en gran medida la calidad que se obtenga del hormigón duro.

²⁶ DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 27

Podríamos juzgar a la docilidad como buena, regular o mala según el grado de facilidad o dificultad que presente la mezcla al ser manipulada; para que un hormigón sea dócil, debe poseer una consistencia y una cohesión adecuada.

Los factores que influyen en la docilidad del hormigón son:

- ✓ La cantidad de agua de amasado; ya que de ella depende tener una mejor trabajabilidad.
- ✓ La granulometría; es decir mientras más fina sea la graduación, más rígida y seca será la mezcla por lo que se necesitara más cantidad de pasta.
- ✓ La forma y textura de los agregados; si las partículas son ásperas y angulares se necesita mayor cantidad de pasta para conseguir que el hormigón sea trabajable.
- ✓ También influye la finura y tipo de cemento a utilizarse, ya que mayor finura mejora la trabajabilidad.
- ✓ Otro factor que influye es la temperatura y el tiempo, debido a que pierde trabajabilidad la mezcla desde el momento en que se prepara a medida que transcurre el tiempo.

No existe un método directo que pueda medir la trabajabilidad de un hormigón fresco, solo contamos con métodos indirectos la cual depende del grado de experiencia y del criterio del ingeniero.

4.3.4 CONTENIDO DE AGUA

El agua es un factor muy importante dentro del diseño de hormigón, ya que de ella depende la relación agua/cemento y la trabajabilidad de la mezcla; también tiene un

papel importante en el proceso de curado del hormigón cuando haya fraguado para garantizar la resistencia prevista en el diseño.

El contenido de agua que se debe colocar en una mezcla de hormigón deber ser lo mínimo pero suficiente para que el cemento pueda hidratarse por completo y cumplir con sus propiedades aglutinantes; si el contenido de agua es lo suficiente la mezcla será fluida y trabajable cumpliendo con la relación agua/cemento optada en el diseño.

Debemos tener muy presente que los agregados no se encuentran en estado sss, por tanto debemos corregir el contenido de agua que se va a utilizar en la mezcla para que no dañemos la relación a/c y que la mezcla no pierda trabajabilidad.

4.3.5 CONTENIDO DE CEMENTO

El contenido de cemento en una mezcla de hormigón es fundamental ya que combinado con el agua de amasado forman una pasta suficiente capaz de cubrir todas las superficies de las partículas de los agregados y poder rellenar los vacíos dejados por ellos.

4.3.6 CURADO

El curado del hormigón es sumamente importante cuando el hormigón haya fraguado, a fin de que alcance los niveles de resistencia para los cuales fue diseñado; para lo cual el agua de curado no debe contener sustancias agresivas para el hormigón.

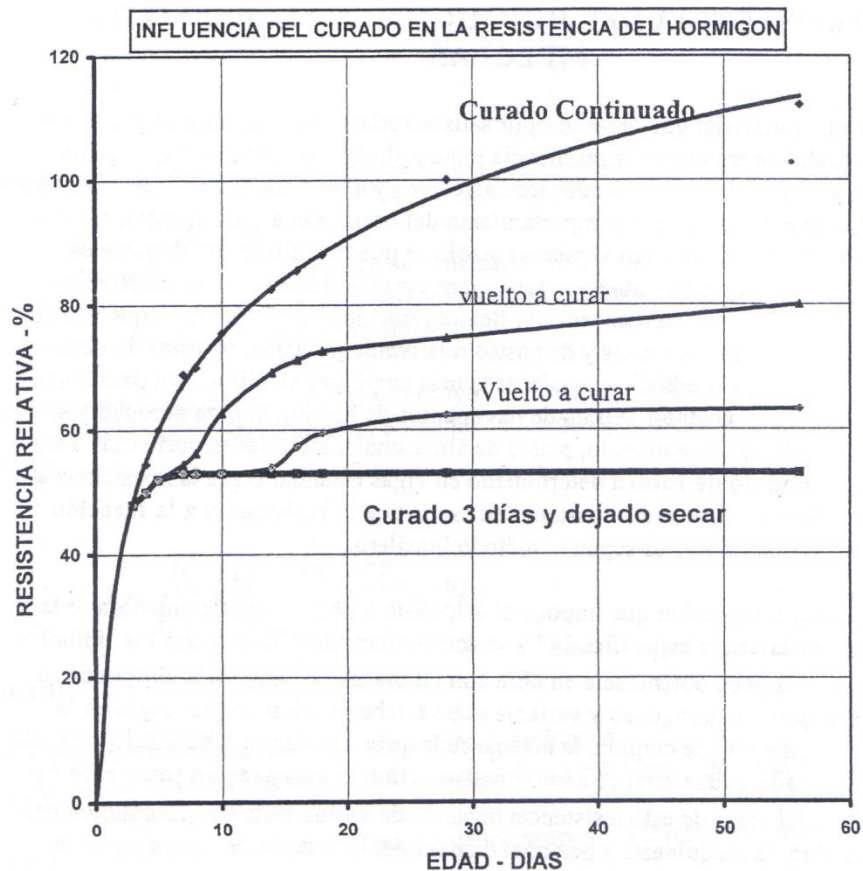
“Hay que recordar que la reacción química del hidróxido de calcio y de los componentes de la puzolana, solo pueden producirse en presencia de agua y que empiezan mucho después que se han producido las reacciones químicas con los componentes del cemento portland, esto es de 7 a 10 días después.”²⁷

²⁷ DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 12

Si tenemos un curado continuo del hormigón, esta ira creciendo continuamente su resistencia; en cambio si no se cura el hormigón, se detiene la acción química y por ende el aumento de su resistencia.

A continuación presentamos un gráfico del curado del hormigón.

FIGURA N° 4.1. Influencia del curado en la resistencia del hormigón.



FUENTE: DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 13

CAPITULO 5

MEZCLAS DE HORMIGÓN

5.1 GENERALIDADES

Para realizar una mezcla de hormigón debemos tener en cuenta cada una de las propiedades físicas y químicas de sus componentes: cemento y agregados, los cuales se deben realizar los ensayos correspondientes según las normas establecidas.

Mediante cálculos determinamos cada una de los valores de las propiedades de cada componente que intervienen en la dosificación; por lo que el diseño de mezclas es un proceso para seleccionar los ingredientes adecuados y determinar sus cantidades relativas en forma económica.

Con las cantidades calculadas, la mezcla de ser trabajable y consistente, también debe cumplir con los requerimientos de resistencia tanto a cargas como a condiciones ambientales especiales.

Para tener el diseño definitivo de una mezcla de hormigón, se debe realizar mezclas de prueba con el propósito de verificar si la dosificación calculada cumple con los requisitos de trabajabilidad y consistencia, por lo que podemos corregir la dosificación sin que se altere sus propiedades físicas y mecánicas.

5.2 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN DETERMINADAS POR LAS MEZCLAS DE PRUEBA

La mezcla de hormigón cuando está fresco debe cumplir con las siguientes propiedades:

- **Uniformidad:** esta propiedad debe ser mantenida en el tambor de mezclado, durante la colocación y compactación, para lograr un hormigón de propiedades

físico-mecánicas y de durabilidad homogéneas en toda su masa. La uniformidad se modifica por los fenómenos de segregación y exudación.

La uniformidad del hormigón depende de varios factores entre los cuales podemos destacar:

- ✓ El tiempo que se le da al concreto para su mezclado.
 - ✓ La buena adherencia entre pasta y agregado.
 - ✓ La granulometría de los agregados empleados.
- **Consistencia:** es una propiedad importante del hormigón fresco, se define como la movilidad de la mezcla fresca, su oposición o resistencia al cambio de forma bajo la acción de su propio peso, y que en términos generales depende de la viscosidad de la pasta, de la cohesión entre partículas y de la cantidad de agua.

Para determinar la consistencia de una mezcla de hormigón, utilizamos el ensayo de asentamiento que se encuentra en la norma ASTM-C143.

El instrumento para la medida del asentamiento es el Cono de Abrams, es un elemento tronco-cónico metálico hueco de dimensiones normalizadas, donde se agrega el hormigón fresco mediante un proceso normalizado.

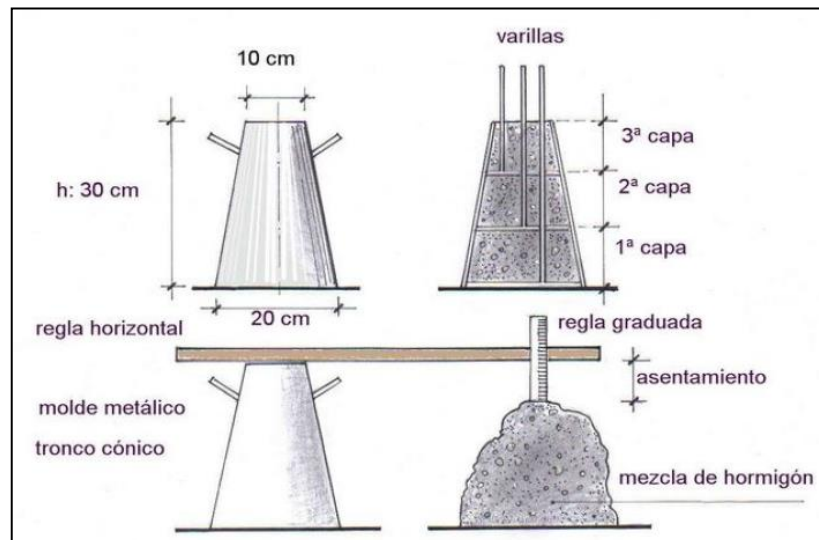
Esta medición se complementa con la observación de la forma de desmoronamiento del cono de hormigón y también se medirá la diferencia de altura entre la masa de hormigón desmoldada y el cono.

TABLA N° 5.1. Cuadro de Asentamientos del Hormigón.

Asentamiento cm	Calificación de la Mezcla
0 a 2	Hormigón muy seco, difícil de trabajar, a menos que sea una mezcla rica en cemento.
3 a 5	Hormigón con muy poca humedad, solo se puede manipular por medios mecánicos y compactar con vibradores de alta frecuencia.
6 a 8	Hormigón plástico, adecuado para la mayoría de las obras. Se compacta por vibración y si está bien dosificada no habrá segregación.
9 a 12	Hormigón húmedo, adecuado para estructuras densamente armadas, formas complicadas y secciones delgadas. Usualmente empleado para hormigón bombeado. Hay que cuidar la segregación.
13 a 16	Hormigón muy húmedo, se puede aceptar si se han empleado aditivos plastificantes y se verifica que no haya segregación.
Mayor a 16	Hormigón muy fluido. El ensayo en el cono de Abrams ya no tiene significado. Solo se puede admitir con el empleo de supe fluidificantes (Hormigón autonivelante o autocompactante).

FUENTE: DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 67

FIGURA N° 5.1. Ensayo de Consistencia del Hormigón – Cono de Abrams.



FUENTE: http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/10/Tesis2009_Lucas-Scanferla.pdf

- **Trabajabilidad:** es una propiedad del hormigón fresco, se define como la mayor o menor facilidad que presenta el hormigón fresco para ser manipulado, transportado, colocado y compactado; dependerá principalmente de la cantidad de pasta de cemento en la mezcla.
- **Cohesión:** es una propiedad del hormigón fresco, se define como la unión que tienen los agregados de la mezcla por medio de la pasta de cemento.

Una buena cohesión depende del grado de consistencia del hormigón fresco, dando una masa plástica; es decir una masa segregada tiene mala cohesión.

- **Sangrado:** o exudación, se define como la elevación de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie, generalmente debido a la sedimentación de los agregados.

Este proceso se inicia momentos después que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados y continua hasta que se inicia el fraguado de la mezcla.

- **Segregación:** se define como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes dejando de ser una mezcla uniforme.

La segregación hace que el agregado grueso tienda a separarse del mortero; produciendo que el concreto sea más débil, menos durable, y tendrá un pobre acabado de su superficie.

Las causas que pueden producir segregación en una mezcla son: la excesiva cantidad de agua, la diferente cantidad de los constituyentes de la mezcla, la diferencia de tamaño de las partículas de los agregados, el manipuleo, y la excesiva vibración de la mezcla.

Para disminuir la segregación debemos aumentar finos como puede ser: cemento o agregado fino.

Existen ensayos indirectos que se realizan en la mezcla de hormigón fresco, que nos sirve para verificar el contenido de mortero en la mezcla y la segregación de la misma; para la interpretación de resultados depende del grado de experiencia que tenga el operador o el encargado del control de calidad.

5.3 PROCEDIMIENTO PARA EL PROYECTO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

Con la información obtenida de los ensayos de cada uno de los componentes del hormigón, y de las propiedades físicas del hormigón es estado fresco y endurecido; procedemos a diseñar la dosificación para la resistencia establecida, para lo cual seguimos el siguiente procedimiento:

- ✓ Primeramente seleccionamos los componentes que interviene en la mezcla de hormigón para realizar los estudios correspondientes; En la presente investigación escogimos los agregados de la Cantera Río Ánzu y utilizamos el cemento Lafarge (Cemento Puzolánico Tipo IP).
- ✓ Debemos seleccionar el tamaño máximo del agregado grueso de acuerdo al propósito que se va a dar al hormigón, en la cantera Río Ánzu adquirimos los materiales pétreos de acuerdo al tamaño establecido y la cantidad necesaria para realizar todas las pruebas en laboratorio.
- ✓ Se deben realizar los ensayos correspondientes a cada componente del hormigón para obtener las propiedades físicas y mecánicas de cada uno de ellos, estos resultados nos sirven para calcular la dosificación estándar de una mezcla de hormigón.

- ✓ Con la dosificación estándar realizamos las primeras mezclas de prueba, con el propósito de verificar y corregir las cantidades de cada componente; se debe corregir por humedad el diseño para que la mezcla no se altere y tenga una buena trabajabilidad y consistencia.

Debemos realizar cilindros de prueba para verificar la resistencia establecida en el diseño a la edad de 7, 14, 21, y 28 días, siendo esta última la edad donde el hormigón alcanza su 100% de resistencia.

- ✓ Después de haber corregido la dosificación estándar obtenemos la dosificación definitiva del hormigón, debemos realizar cilindros de prueba, vigas estándar y vigas de hormigón armado; con la finalidad de determinar los parámetros puestos en consideración en esta investigación.

5.4 SELECCIÓN DEL AGREGADO

El ingeniero civil a cargo del diseño de mezclas debe tener un alto grado de conocimiento acerca de los materiales de construcción, debe tratar de optimizar los recursos disponibles de una manera económica según la exigencia del proyecto.

Para la realización de una mezcla de hormigón el componente que interviene con mayor cantidad son los agregados, por lo cual debemos escoger un agregado de mejor calidad que no afecte la resistencia del hormigón endurecido, es decir se selecciona un agregado que este lo más cerca al proyecto pero que sea menos poroso.

Debido a la gran demanda de hormigón en proyectos civiles a nivel nacional, en nuestro país existen una gran cantidad de canteras y minas de agregados, cada cantera o mina tienen agregados de propiedades diferentes de acuerdo a la zona geológica donde esté ubicada.

Para nuestra investigación hemos escogido el material pétreo de una cantera de la ciudad del Tena, debido a la demanda de áridos para la construcción en esa ciudad, las canteras

se abastecen de material pétreo obtenidas de las riberas de los ríos Ánzu, Napo y Tena; siendo uno de nuestros propósitos conocer las propiedades físicas y mecánicas que presentan estos agregados.

5.4.1 AGREGADOS PROCEDENTES DE LA CIUDAD DE TENA, CANTERA RÍO ÁNZU

La presente investigación se basa en la realización de hormigones con agregados procedentes de la cantera “Rio Ánzu“.

Con los agregados seleccionados determinamos las propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos en laboratorio, con esos resultados realizamos el diseño de hormigón para determinar el módulo de rotura mediante la elaboración de vigas estándar y para el control de deflexiones mediante la elaboración de vigas de hormigón armado, verificando que los resultados cumplan con los requisitos de calidad establecidas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción y por le A.C.I.

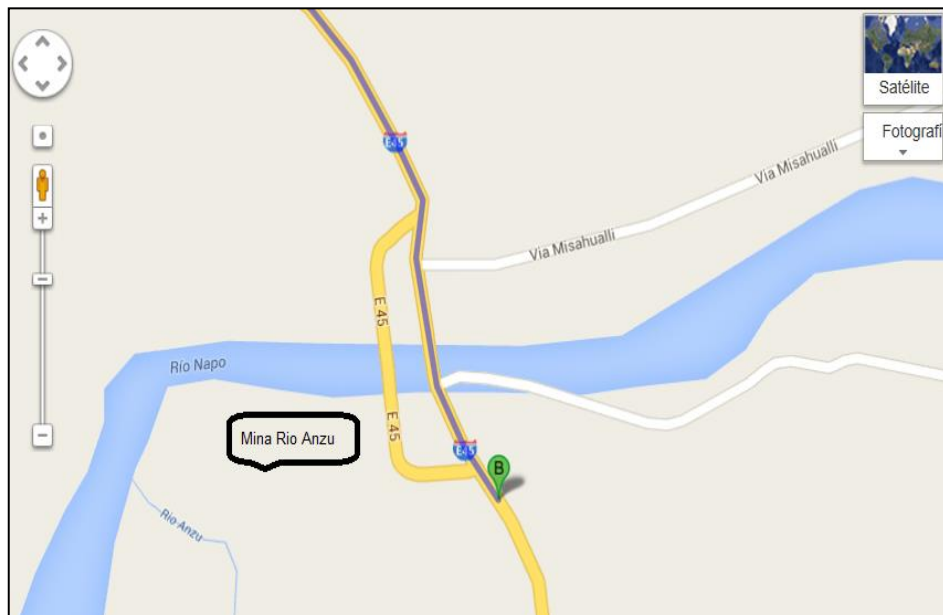
FIGURA N° 5.2. Cantera “Rio Ánzu”



FUENTE: Grupo de Tesis

- ✓ **Ubicación:** La cantera Río Ánzu está ubicada al sur-oeste de Tena en el km 8,5 de la vía Tena-Puyo, en el sector llamado Ánzu de la Parroquia Puerto Napo, Cantón Tena, Provincia de Napo. Esta cantera se encuentra a 510 msnm y pertenece al GAD de Tena.

FIGURA N° 5.3. Ubicación Cantera “Río Ánzu”



FUENTE: <https://maps.google.com.ec/maps>

- ✓ **Geología:** El material es extraído mediante excavaciones a cielo abierto longitudinalmente paralelo al río ya sea de los ríos cercanos a la mina o de zonas específicas, la conformación de la zona es producto de la formación Napo Basal y de la Formación Tena con material aluvial de terrazas de altura con cantos rodados de diferentes diámetros (rocas, lastre, arenas).
- ✓ **Maquinaria:** Actualmente la cantera cuenta con 2 excavadoras, 1 tractor, 2 cargadoras, 4 volquetas de 8 m³, 6 volquetas de 12 m³, una máquina trituradora, una planta de asfalto.

FIGURA N° 5.4. Maquinaria Cantera “Río Ánzu”



FUENTE: Grupo de Tesis

- ✓ **Reserva:** La cantera cuenta con 76 Has mineras, por lo cual el volumen a extraerse por año es de 250000 m³ de materiales pétreos con un promedio de 880 m³ diario.

FIGURA N° 5.5. Reserva Cantera “Río Ánzu”



FUENTE: Grupo de Tesis

5.5 MUESTREO DE LOS AGREGADOS

Para el muestreo de los agregados, seleccionamos el tamaño máximo del agregado grueso que es de $\frac{3}{4}$ " (pulgada), luego procedemos a viajar a la mina seleccionada con el propósito de tomar las cantidades de muestras suficientes para la realización de los ensayos en laboratorio y realizar las mezclas de hormigón necesarias.

Procedemos a recolectar el agregado grueso y fino de los montículos indicados teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ Debemos tomar el material grueso de tres partes del montículo que son: de la parte superior, parte media y del fondo; con el propósito de que tengamos un material con partículas de diferente tamaño.
- ✓ En el caso del material fino debemos tomar la muestra que se encuentra en la parte inferior del montículo, con el propósito de tener el material con partículas no tan finas.

Con el material obtenido y llevado a laboratorio, procedemos a realizar los ensayos correspondientes, pero antes de eso debemos realizar un tratamiento previo al material para evitar errores en los ensayos, para lo cual realizamos lo siguiente:

- ✓ Debemos secar el material pétreo para uniformizar el contenido de humedad.
- ✓ Con el tamiz N°4, tamizamos el agregado fino para disminuir el contenido de materia orgánica y sacar las piedras en exceso.
- ✓ Para el agregado grueso, con el tamiz N° 4 tamizamos para disminuir el contenido excesivo de finos.

- ✓ Luego procedemos a ensacar el material en sacos de yute, colocando en cada saco 45 kg ya sea de arena o de ripio como cantidades máximas, colocamos en sacos para tener una mejor cuantificación de material.

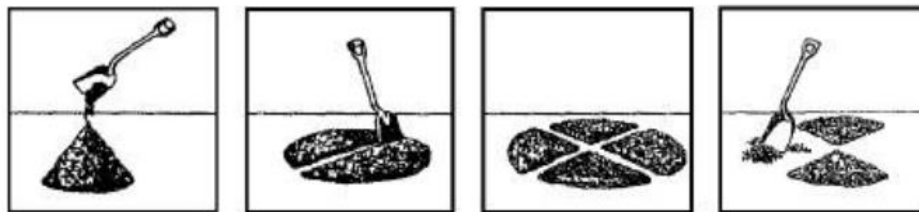
Para realizar los ensayos en laboratorio ya sea del agregado fino o grueso, debemos muestrear el material mediante los métodos principales de toma de muestras, estos métodos pueden dividir las muestras de suelos obtenidas en campo, para obtener porciones que sean representativas y que tengan los tamaños adecuados para los diferentes ensayos que se necesite desarrollar.

Hay procedimientos manuales y mecánicos de acuerdo con el tamaño de la muestra de campo y el de la muestra requerida, se pueden aplicar los siguientes métodos:

- **Cuarteo Manual:** Este método es aplicable principalmente para el agregado grueso; Consiste en colocar el material sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no pueda haber pérdida de material ni contaminación con otros materiales; luego formamos una pila cónica, depositando cada paleada sobre la anterior hasta que tengamos una masa uniforme.

Por medio de la pala ejercemos presión sobre el vértice, aplanando con cuidado la pila hasta obtener un espesor uniforme. Seguidamente dividimos la pila aplanada en cuatro partes iguales con la pala, de las cuatro partes se desechan dos opuestas y se seleccionan las restantes, las cuales deben ser nuevamente mezcladas y reducidas de la forma explicada hasta obtener la muestra de ensayo.

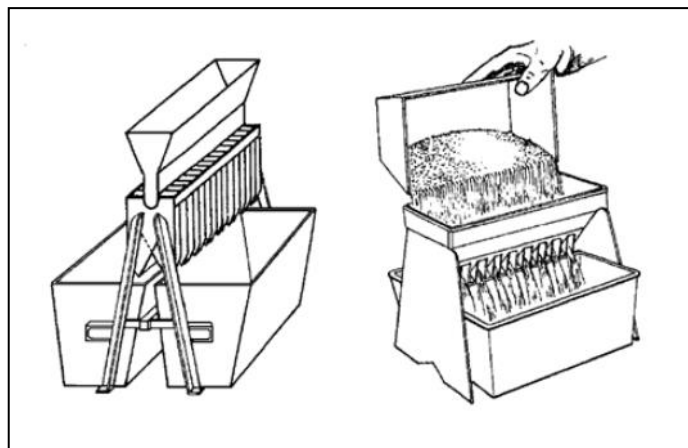
FIGURA N° 5.6. Cuarteo Manual del Agregado



FUENTE: <http://dc202.4shared.com/doc/f4GKYxW1/preview.html>

- **Cuarteo Mecánico:** En este método se utiliza el partidor de Jones, se compone de una caja que cuenta con una serie de divisiones paralelas verticales, el número de divisiones no debe ser menor de ocho para agregado grueso y no menor de 12 para agregado fino y debe tener un ancho adecuado al tamaño máximo del agregado. Se descargan alternativamente a la derecha y a la izquierda, la muestra se descarga a todo lo ancho del separador y cae en dos cajas colocadas al fondo de los canalones a ambos lados del aparato. Una de las partes se desecha y se repite la operación con la otra mitad hasta llegar a obtener la cantidad deseada.

FIGURA N° 5.7. Partidor de Jones



FUENTE: <http://procesaminerales.blogspot.com/2012/05/tecnicas-de-muestreo-de-minerales.html>

5.6 ENSAYO DE LOS AGREGADOS

La calidad, forma y textura de los agregados es muy importante en una mezcla de hormigón, ya que de ella depende la adherencia entre agregados y pasta de cemento. También debe estar la superficie libre de impurezas orgánicas las cuales son desfavorables en la unión entre agregado y el cemento, por lo cual los agregados deben cumplir con ciertos parámetros como son: la resistencia, durabilidad, granulometría y resistencia al intemperismo.

En nuestra investigación realizamos algunos ensayos a los agregados para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, los ensayos realizados los describimos a continuación:

5.6.1 ABRASIÓN

La abrasión es el primer ensayo que se debe realizar al agregado grueso, ya que determina si el agregado es apto para soportar cargas o para resistir al desgaste; este ensayo es indispensable en el diseño de mezclas debido a su gran importancia. Si el resultado de las pruebas es negativo, no es necesario seguir con los demás ensayos previstos, debemos rechazar el agregado.

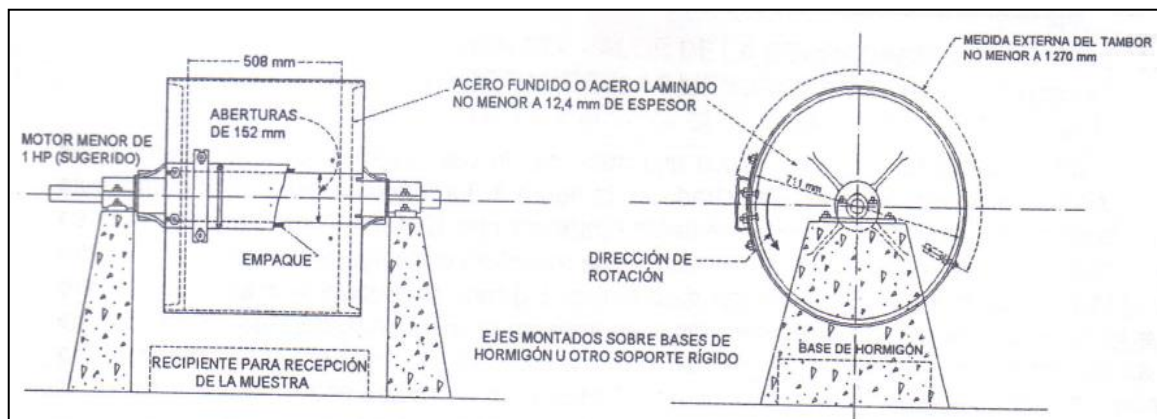
Para realizar el ensayo de Abrasión debemos seguir la Norma INEN 860:2011 (ASTM C-131), el objetivo de este ensayo es conocer la resistencia y la durabilidad que tendrá el hormigón con este tipo de agregado. Se analiza el desgaste del agregado grueso menor a 1 ½". (38 mm) que es el resultado de la fricción y el impacto con las esferas dentro de la Máquina de los Ángeles.

Para interpretar el resultado obtenido del ensayo de abrasión, obtenemos el porcentaje de desgaste del ripio y el coeficiente de uniformidad del agregado.

- ✓ *“Coeficiente de Uniformidad.-* Es la relación por cociente que existe entre la masa del agregado grueso después de 100 revoluciones y la que queda después de 500 revoluciones.
- ✓ *Porcentaje de Desgaste.-* Expresa la disminución porcentual de la masa de ripio desde la fase inicial hasta cuando la muestra se encuentra desgastada y seca al horno.”²⁸

²⁸ DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LAS CANTERAS DE PIFO, SAN ANTONIO DE PICHINCHA Y GUAYLLABAMBA, Autores: Morales Edison, Morocho José, Porras Erick, Sánchez Nelson, Ecuador 2012, Pág. 35.

FIGURA N° 5.8. Máquina de los Ángeles



FUENTE: Norma INEN 860:2011 – Pág. 3

TABLA N° 5.2. Especificaciones para la Carga.

Gradación	Numero de Esferas	Masa de la Carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3320 ± 25
D	6	2500 ± 25

FUENTE: Norma INEN 860:2011 – Pág. 3

TABLA N° 5.3. Gradación de las Muestras de Ensayo.

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

FUENTE: Norma INEN 860:2011 – Pág. 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE ABRASION DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO:	01	ORIGEN:	CANTERA RIO ANZU
NORMA:	NTE - INEN 860 ; ASTM C - 131	LUGAR:	PROVINCIA DE NAPO
TAMAÑO NOMIAL :	3/4"	FECHA:	16/04/2013
GRADACION:	B (1/2"; 3/8")	REALIZADO POR:	QUINGALUISA ALEX YUCATO EDGAR

DESCRIPCION		CANTIDAD	UNIDAD
1.-	Masa inicial del material	5000,0	g
2.-	Masa de ripio en el tamiz No. 12 después de las 100 REVOLUCIONES	4803,0	g
3.-	Pérdida del material después de 100 REVOLUCIONES	197,0	g
4.-	Porcentaje de pérdidas de material después de las 100 REVOLUCIONES	3,940	%
5.-	Masa del ripio retenido en el tamiz No. 12 después de las 500 REVOLUCIONES	3950,0	g
6.-	Pérdida del material después de 500 REVOLUCIONES	1050,0	g
7.-	Porcentaje de pérdidas de material después de las 500 REVOLUCIONES	21,0	%
8.-	Uniformidad del material	0,188	-



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE ABRASION DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO:	02	ORIGEN:	CANTERA RIO ANZU
NORMA:	NTE - INEN 860 ; ASTM C - 131	LUGAR:	PROVINCIA DE NAPO
TAMAÑO NOMIAL :	3/4"	FECHA:	16/04/2013
GRADACION:	B (1/2"; 3/8")	REALIZADO POR:	QUINGALUISA ALEX YUCATO EDGAR

DESCRIPCION		CANTIDAD	UNIDAD
1.-	Masa inicial del material	5000,0	g
2.-	Masa de ripio en el tamiz No. 12 después de las 100 REVOLUCIONES	4801,0	g
3.-	Pérdida del material después de 100 REVOLUCIONES	199,0	g
4.-	Porcentaje de pérdidas de material después de las 100 REVOLUCIONES	3,980	%
5.-	Masa del ripio retenido en el tamiz No. 12 después de las 500 REVOLUCIONES	3955,0	g
6.-	Pérdida del material después de 500 REVOLUCIONES	1042,0	g
7.-	Porcentaje de pérdidas de material después de las 500 REVOLUCIONES	20,8	%
8.-	Uniformidad del material	0,191	-

5.6.2 COLORIMETRÍA

Todo agregado fino presenta impurezas orgánicas las cuales perjudican la hidratación del cemento y el desarrollo consecuente de la resistencia del hormigón.

Para determinar la cantidad de materia orgánica o de impurezas que tiene el agregado fino, se realiza el ensayo de colorimetría.

Este ensayo esta estandarizado en la Norma INEN 855:2010 (ASTM C-40); Siendo el objetivo principal de este ensayo el determinar en una muestra de arena el contenido de materia orgánica existente y así poder conocer hasta que resistencia se puede alcanzar en el hormigón con ese agregado.

El ensayo consiste en colocar una determinada cantidad de arena en una solución al 3% de NaOH (Hidróxido de Sodio) o Sosa caustica con relación a la cantidad de agua a utilizar, de esta manera si existe materia orgánica se producirá algún tipo de coloración en la solución y se lo ubicará dentro del gráfico que se describe a continuación:

FIGURA N° 5.9. Colorimetría del Agregado Fino



FUENTE: Laboratorio de Ensayo de Materiales - UCE

TABLA N° 5.4. Colorimetría del Agregado Fino

FIG N.-	COLOR	PROPIEDADES
1	Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas.
2	Amarillo pálido	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad.
3	Amarillo encendido	Contiene materia orgánica en altas cantidades. Puede usarse para hormigones de baja resistencia.
4	Café	Contiene materia orgánica en concentraciones muy elevadas. Se considera de mala calidad.
5	Café chocolate	Arena de muy mala calidad.

FUENTE: Laboratorio de Ensayo de Materiales - UCE

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE COLORIMETRIA DEL AGREGADO FINO

ENSAYO:	01	ORIGEN:	CANTERA RIO ANZU
NORMA:	NTE - INEN 855 ; ASTM C - 40	LUGAR:	PROVINCIA DE NAPO
FECHA:	19/03/2013	REALIZADO POR:	QUINGALUISA ALEX YUCATO EDGAR



COLOR DE LA MUESTRA	AMARILLO PALIDO		
CONTENIDO ORGANICO ACEPTABLE	SI	(x)	
	NO	()	
COLORIMETRIA	Grafico número 2		

Resultado:

Contiene poca cantidad de materia orgánica, limo o arcillas, Arena de buena calidad para hormigones.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

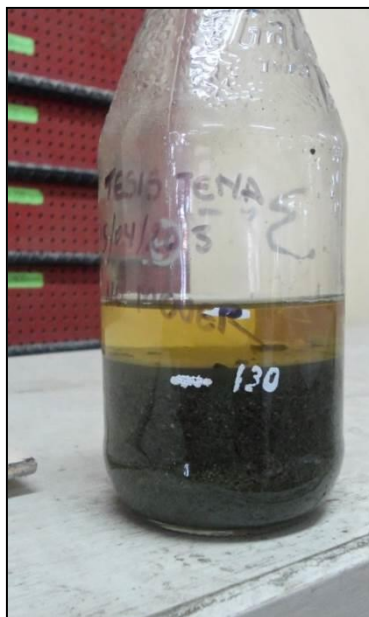
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE COLORIMETRIA DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: 01 ORIGEN: CANTERA RIO ANZU
NORMA: NTE - INEN 855 ; ASTM C - 40 LUGAR: PROVINCIA DE NAPO
FECHA: 15/04/2013 REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX
YUCATO EDGAR



COLOR DE LA MUESTRA	AMARILLO PALIDO		
CONTENIDO ORGANICO ACEPTABLE	SI	(x)	
	NO	()	
COLORIMETRIA	Grafico número 2		

Resultado:

Contiene poca cantidad de materia orgánica, limo o arcillas, Arena de buena calidad para hormigones.

5.6.3 DENSIDAD REAL EN ESTADO SSS

La densidad de los agregados es una propiedad física que se define como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, es decir depende de las características del grano del agregado.

“Este factor es importante para el diseño de mezclas porque con él se determina la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto, debido a que los poros interiores de las partículas de agregado van a ocupar un volumen dentro de la masa de concreto y además porque el agua se aloja dentro de los poros saturables.

Existen tres tipos de densidad las cuales están basadas en la relación entre la masa (en el aire) y el volumen del material a saber:

- ✓ *Densidad Nominal.* Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros no saturables, y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a temperatura establecida.
- ✓ *Densidad Aparente.* Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables, (pero sin incluir los vacíos entre las partículas) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.
- ✓ *Densidad Aparente (SSS).* Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, (después de la inmersión en agua durante aproximadamente 24 horas), pero sin incluir los vacíos entre las partículas, comparado con la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.”²⁹

²⁹ <http://www.construaprende.com/docs/lab/335-practica-densidad-absorcion-agregados>

La norma ASTM C-702 y la NTE INEN-2566, describe el procedimiento que debemos seguir para preparar el material fino y grueso obteniendo una muestra representativa para realizar el ensayo previsto.

Para el ensayo de densidad en estado SSS del agregado fino, se encuentra descrito el procedimiento en la norma ASTM C-127 y la NTE INEN-856:2010; para lo cual el instrumento principal es el picnómetro.

Mientras para el ensayo de densidad en estado SSS del agregado grueso, se encuentra descrito el procedimiento en la norma ASTM C-128 y la NTE INEN-857:2010.

5.6.4 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

Se define como la cantidad de agua expresada en porcentaje que puede absorber las partículas, desde cuando están totalmente secas, hasta cuándo se encuentran en estado SSS.

Está relacionada con la rugosidad de la superficie, con la finura de las partículas de los agregados, con la afinidad de los materiales con el agua y con la porosidad del agregado; es decir a mayor porosidad, mayor capacidad de absorción.

El ensayo de capacidad de absorción está estandarizado en la Norma (ASTM C-70), NTE INEN 856:2010 para el agregado fino y la NTE INEN 857:2010 para el agregado grueso.

El objetivo principal de este ensayo es determinar el porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso) que van a ser utilizados en la determinación de la dosificación de las mezclas y posteriormente a la elaboración de hormigones.

Este ensayo consiste en sumergir la muestra durante un tiempo de 24 horas, luego se procede a sacarlo del recipiente para dejarlo en estado SSS. Cuando se haya alcanzado

dicha condición se pesa y se procede a secarlo en el horno. La diferencia de pesos se denomina capacidad de absorción del agregado expresado en porcentaje.

Utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de Absorción \%} = \frac{M_{ss} - M_{seca}}{M_{seca}} \times 100$$

Ecuación 5.1 Capacidad de Absorción

Donde:

- ✓ M_{ss} : Masa del agregado en estado saturado superficie seca.
- ✓ M_{seca} : Masa del agregado después de secado en el horno por al menos 24 horas.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL
AGREGADO FINO**

ENSAYO: 01

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

NORMA: NTE - INEN 856 - 857;
ASTM C - 127 ; C - 128

LUGAR: PROVINCIA DE NAPO

REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX

FECHA: 10/04/2013

YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS		
NTE INEN 856 - ASTM C 127		
1.- Masa del Picnómetro	g	173,7
2.- Masa del Picnómetro + 500 cm ³ de agua	g	672,7
3.- Masa del Picnómetro + arena sss	g	673,7
4.- Masa de la arena en sss	g	500
5.- Masa del Picnómetro + arena + agua	g	983
6.- Volumen desalojado (4-(5-2))	cm ³	189,7
7.- Densidad de volumen en estado SSS	g/cm³	2,64
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		
NTE INEN 856 - ASTM C 127		
1.- Masa del Recipiente	g	131,8
2.- Masa del Recipiente + arena en sss	g	631,8
3.- Masa de la arena en sss	g	500
4.- Masa del recipiente + arena seca	g	624,8
5.- Masa de la arena seca	g	493
6.- Masa de agua	g	7,00
7.- Capacidad de absorción	%	1,42



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL
AGREGADO FINO**

ENSAYO 02

NORMA: NTE - INEN 856 - 857;
ASTM C - 127 ; C - 128

FECHA: 10/04/2013

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

LUGAR: PROVINCIA DE NAPO

REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX
YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS		
NTE INEN 856 - ASTM C 127		
1.- Masa del Picnómetro	g	173,7
2.- Masa del Picnómetro + 500 cm ³ de agua	g	672,7
3.- Masa del Picnómetro + arena sss	g	673,7
4.- Masa de la arena en sss	g	500
5.- Masa del Picnómetro + arena + agua	g	983,5
6.- Volumen desalojado (4-(5-2))	cm ³	189,2
7.- Densidad de volumen en estado SSS	g/cm³	2,64
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		
NTE INEN 856 - ASTM C 127		
1.- Masa del Recipiente	g	292,5
2.- Masa del Recipiente + arena en sss	g	792,5
3.- Masa de la arena en sss	g	500
4.- Masa del recipiente + arena seca	g	785,6
5.- Masa de la arena seca	g	493,1
6.- Masa de agua	g	6,9
7.- Capacidad de absorción	%	1,40



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL
AGREGADO FINO**

ENSAYO: 03

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

NORMA: NTE - INEN 856 - 857;
ASTM C - 127 ; C - 128

LUGAR: PROVINCIA DE NAPC

REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX
YUCATO EDGAR

FECHA: 10/04/2013

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS		
NTE INEN 856 - ASTM C 127		
1.- Masa del Picnómetro	g	173,7
2.- Masa del Picnómetro + 500 cm ³ de agua	g	672,7
3.- Masa del Picnómetro + arena sss	g	673,7
4.- Masa de la arena en sss	g	500
5.- Masa del Picnómetro + arena + agua	g	982,9
6.- Volumen desalojado (4-(5-2))	cm ³	189,8
7.- Densidad de volumen en estado SSS	g/cm³	2,63
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		
NTE INEN 856 - ASTM C 127		
1.- Masa del Recipiente	g	139,3
2.- Masa del Recipiente + arena en sss	g	639,3
3.- Masa de la arena en sss	g	500
4.- Masa del recipiente + arena seca	g	632,2
5.- Masa de la arena seca	g	492,9
6.- Masa de agua	g	7,10
7.- Capacidad de absorción	%	1,44



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL
AGREGADO GRUESO**

ENSAYO: 01

NORMA: NTE - INEN 856 - 857;
ASTM C - 127 ; C - 128

FECHA: 10/04/2013

ORIGEN: CANTERA RIO ANZI

LUGAR: PROVINCIA DE NAPE

REALIZADO POR QUINGALUISA ALEX
YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
DENSIDAD DE VOLUMEN EN SSS		
NTE INEN 857 - ASTM C 128		
1.- Masa del recipiente	g	228
2.- Masa del recipiente + ripio en sss	g	4856
3.- Masa del ripio en sss	g	4628
4.- Masa de la canastilla sumergida en el agua	g	1654
5.- Masa de la canastilla + ripio sumerg. en ag	g	4554
6.- Masa del ripio en el agua	g	2900
7.- Volumen desalojado (3-6)	cm ³	1728
8.- Densidad de Volumen SSS	g/cm³	2,68
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		
NTE INEN 857 - ASTM C 128		
1.- Masa del Recipiente	g	228
2.- Masa del Recipiente + arena en sss	g	4856
3.- Masa del ripio en sss	g	4628
4.- Masa del recipiente + ripio seco	g	4791
5.- Masa del ripio seco	g	4563
6.- Masa de agua	g	65
7.- Capacidad de absorción	%	1,42



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL
AGREGADO GRUESO**

ENSAYO: 02

NORMA: NTE - INEN 856 - 857;
ASTM C - 127 ; C - 128

FECHA: 10/04/2013

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

LUGAR: PROVINCIA DE NAPO

REALIZADO POR QUINGALUISA ALEX
YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
DENSIDAD DE VOLUMEN EN SSS		
NTE INEN 857 - ASTM C 128		
1.- Masa del recipiente	g	241
2.- Masa del recipiente + ripio en sss	g	4627
3.- Masa del ripio en sss	g	4386
4.- Masa de la canastilla sumergida en el agua	g	1654
5.- Masa de la canastilla + ripio sumerg. en ag	g	4400
6.- Masa del ripio en el agua	g	2746
7.- Volumen desalojado (3-6)	cm ³	1640
8.- Densidad de Volumen SSS	g/cm³	2,67
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		
NTE INEN 857 - ASTM C 128		
1.- Masa del Recipiente	g	241
2.- Masa del Recipiente + arena en sss	g	4627
3.- Masa del ripio en sss	g	4386
4.- Masa del recipiente + ripio seco	g	4559
5.- Masa del ripio seco	g	4318
6.- Masa de agua	g	68
7.- Capacidad de absorción	%	1,57



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL
AGREGADO GRUESO**

ENSAYO: 03

NORMA: NTE - INEN 856 - 857;
ASTM C - 127 ; C - 128

FECHA: 10/04/2013

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

LUGAR: PROVINCIA DE NAPO

REALIZADO POR QUINGALUISA ALEX
YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
DENSIDAD DE VOLUMEN EN SSS		
NTE INEN 857 - ASTM C 128		
1.- Masa del recipiente	g	289
2.- Masa del recipiente + ripio en sss	g	4010
3.- Masa del ripio en sss	g	3721
4.- Masa de la canastilla sumergida en el agua	g	1654
5.- Masa de la canastilla + ripio sumerg. en ag	g	3988
6.- Masa del ripio en el agua	g	2334
7.- Volumen desalojado (3-6)	cm ³	1387
8.- Densidad de Volumen SSS	g/cm³	2,68
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		
NTE INEN 857 - ASTM C 128		
1.- Masa del Recipiente	g	289
2.- Masa del Recipiente + arena en sss	g	4010
3.- Masa del ripio en sss	g	3721
4.- Masa del recipiente + ripio seco	g	3958
5.- Masa del ripio seco	g	3669
6.- Masa de agua	g	52
7.- Capacidad de absorción	%	1,42

5.6.5 CONTENIDO DE HUMEDAD

Se define como la cantidad de agua que tienen las partículas de los agregados, generalmente se expresa en porcentaje.

“Los agregados que se encuentran en la intemperie, sus partículas pueden estar muy secas o llenos de agua, por lo general estos poseen un grado de humedad, el cual es de gran importancia ya que con él podríamos saber si nos aporta agua a la mezcla para poder corregir el agua de mezclado.

Las partículas de agregado pueden pasar por cuatro estados, los cuales se describen a continuación:

- ✓ Totalmente seco: Se logra mediante un secado al horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta que los agregados tengan un peso constante (generalmente 24 horas).
- ✓ Parcialmente seco: Se logra mediante exposición al aire libre.
- ✓ Saturado y Superficialmente seco: (SSS): En un estado límite en el que los agregados tienen todos sus poros llenos de agua pero superficialmente se encuentran secos. Este estado sólo se logra en el laboratorio.
- ✓ Totalmente Húmedo: Todos los agregados están llenos de agua y además existe agua libre superficial. ”³⁰

El ensayo de contenido de humedad está estandarizado en la Norma ASTM C-566 y la NTE INEN 862:2010; este ensayo consiste en someter una muestra de agregado a un proceso de secado y comparar su masa antes y después del mismo para determinar su porcentaje de humedad total.

Cuando la humedad libre es positiva, el agregado está aportando agua a la mezcla; si es negativa, el agregado está quitando agua a la mezcla.

³⁰ <http://www.construaprende.com/docs/lab/336-practica-contenido-humedad-agregados>



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

ENSAYO: 01

NORMA: NTE - INEN 862:2011;
ASTM C - 566

FECHA: 06/06/2013

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

LUGAR: PROVINCIA DE NAPO

REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX
YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
AGREGADO GRUESO		
1.- Masa del Recipiente	g	158,10
2.- Masa del Recipiente + Ripio	g	1004,80
3.- Masa del Ripio	g	846,70
4.- Masa del recipiente + Ripio seco	g	1002,40
5.- Masa del Ripio Seco	g	844,30
6.- Masa de agua	g	2,40
7.- Contenido de Humedad	%	0,28
AGREGADO FINO		
1.- Masa del Recipiente	g	179,30
2.- Masa del Recipiente + Arena	g	1034,30
3.- Masa de la Arena	g	855,00
4.- Masa del recipiente + Arena seca	g	1031,00
5.- Masa de la Arena Seca	g	851,70
6.- Masa de agua	g	3,30
7.- Contenido de Humedad	%	0,39



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUENDAD DE LOS AGREGADOS

ENSAYO: 02

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

NORMA: NTE - INEN 862:2011;

LUGAR: PROVINCIA DE NAPO

ASTM C - 566

REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX

FECHA: 09/09/2013

YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
AGREGADO GRUESO		
1.- Masa del Recipiente	g	140,00
2.- Masa del Recipiente + Ripio	g	540,00
3.- Masa del Ripio	g	400,00
4.- Masa del recipiente + Ripio seco	g	539,00
5.- Masa del Ripio Seco	g	399,00
6.- Masa de agua	g	1,00
7.- Contenido de Humedad	%	0,25
AGREGADO FINO		
1.- Masa del Recipiente	g	135,00
2.- Masa del Recipiente + Arena	g	635,00
3.- Masa de la Arena	g	500,00
4.- Masa del recipiente + Arena seca	g	633,00
5.- Masa de la Arena Seca	g	498,00
6.- Masa de agua	g	2,00
7.- Contenido de Humedad	%	0,40



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUENDAD DE LOS AGREGADOS

ENSAYO: 03

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

NORMA: NTE - INEN 862:2011;

LUGAR: PROVINCIA DE NAPC

ASTM C - 566

REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX

FECHA: 09/12/2013

YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
AGREGADO GRUESO		
1.- Masa del Recipiente	g	161,50
2.- Masa del Recipiente + Ripio	g	538,60
3.- Masa del Ripio	g	377,10
4.- Masa del recipiente + Ripio seco	g	537,60
5.- Masa del Ripio Seco	g	376,10
6.- Masa de agua	g	1,00
7.- Contenido de Humedad	%	0,27
AGREGADO FINO		
1.- Masa del Recipiente	g	157,50
2.- Masa del Recipiente + Arena	g	632,50
3.- Masa de la Arena	g	475,00
4.- Masa del recipiente + Arena seca	g	630,40
5.- Masa de la Arena Seca	g	472,90
6.- Masa de agua	g	2,10
7.- Contenido de Humedad	%	0,44

5.6.6 DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA

“La densidad aparente está definida como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros saturables y no saturables.

En el campo de la tecnología del hormigón la densidad que interesa es la densidad aparente, debido a que lógicamente con ella se determina la cantidad (en peso) de agregado requerida para un volumen unitario de hormigón, porque los poros interiores de las partículas de agregado van a ocupar un volumen dentro de la masa de hormigón y además por cuanto el agua que se aloja dentro de los poros saturables no hace parte del agua de mezclado; entendiéndose como el agua de mezclado tanto el agua de hidratación del cemento como el agua libre que en combinación con el cemento produce la pasta lubricante de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.”³¹

El ensayo de densidad aparente suelta y compactada está estandarizado en la Norma ASTM C-29 y en la NTE INEN 858: 2010. Esta Norma establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los agregados, la cual puede ser suelta o compactada.

- ✓ La densidad aparente suelta: Es la relación entre el peso neto de agregado y el volumen de un recipiente, sin apisonamiento.
- ✓ La densidad aparente compactada: Es la relación entre el peso de agregado y el volumen de un recipiente, compactado.

La densidad aparente suelta siempre será menor que la densidad aparente compactada, ya sea en la arena o en el ripio, debido que al compactar el agregado disminuyen los vacíos existentes entre partículas aumentando la densidad.

³¹ <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html>

También se debe obtener la densidad de la mezcla de estos agregados de acuerdo a las Normas Técnicas, como son:

- ✓ Densidad aparente máxima.- Es la densidad de la mezcla de agregados finos y gruesos que genera la menor cantidad de vacíos y por lo tanto, la mayor masa. Para esta densidad corresponde un porcentaje máximo de arena.
- ✓ Densidad óptima: La densidad óptima se refiere a una densidad algo menor que la máxima y se obtiene disminuyendo un 4% del porcentaje máximo de finos, implicando un aumento del porcentaje de gruesos.

La densidad optima es la más recomendada en el diseño de hormigones, puesto que al dejar una mayor cantidad de vacíos entre agregados, se debe colocar una mayor cantidad de pasta (cemento – agua), dándole al hormigón mayor trabajabilidad, cohesión y resistencia.

La fórmula a utilizarse es la siguiente:

$$D = \frac{M_{(agregado + recipiente)} - M_{(recipiente vacío)}}{V_{(recipiente)}}$$

Ecuación 5.2 Densidad de los Agregados

Donde:

- ✓ **D:** Densidad.
- ✓ **$M_{(agregado + recipiente)}$:** Masa del agregado + recipiente.
- ✓ **$M_{(recipiente vacío)}$:** Masa del recipiente vacío.
- ✓ **$V_{(recipiente)}$:** Volumen del Recipiente.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD APARENTE SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: 01	ORIGEN: CANTERA RIO ANZU
NORMA: NTE - INEN 858 ;	LUGAR: PROVINCIA DE NAPO
ASTM C - 29	REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX
FECHA: 11/04/2013	YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA		
		No. 1	No. 2	No.3
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO				
1.- Peso del molde	g	1950	1950	1950
2.- Volumen del molde	cm ³	2887	2887	2887
3.- Peso del molde + Material Suelto	g	6334	6330	6333
4.- Material Suelto	g	4384	4380	4383
5.- Densidad Aparente Suelta	g/cm ³	1,52	1,52	1,52
DENSIDAD APARENTE SUELTA (PROMEDIO)		1,518	g/cm ³	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO				
1.- Peso del molde	g	1950	1950	1950
2.- Volumen del molde	cm ³	2887	2887	2887
3.- Peso del molde + Material Compactado	g	6744	6749	6744
4.- Material Compactado	g	4794	4799	4794
5.- Densiad Aparente Compactada	g/cm ³	1,66	1,66	1,66
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (PROMEDIO)		1,661	g/cm ³	



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD APARENTE SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: 02	ORIGEN: CANTERA RIO ANZU
NORMA: NTE - INEN 858 ; ASTM C - 29	LUGAR: PROVINCIA DE NAPO
FECHA: 11/04/2013	REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA		
		No. 1	No. 2	No.3
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO				
1.- Peso del molde	g	1950	1950	1950
2.- Volumen del molde	cm³	2887	2887	2887
3.- Peso del molde + Material Suelto	g	6328	6315	6330
4.- Material Suelto	g	4378	4365	4380
5.- Densidad Aparente Suelta	g/cm³	1,52	1,51	1,52
DENSIDAD APARENTESUELTA (PROMEDIO)		1,515	g/cm³	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO				
1.- Peso del molde	g	1950	1950	1950
2.- Volumen del molde	cm³	2887	2887	2887
3.- Peso del molde + Material Compactado	g	6736	6705	6707
4.- Material Compactado	g	4786	4755	4757
5.- Densiad Aparente Compactada	g/cm³	1,66	1,65	1,65
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (PROMEDIO)		1,651	g/cm³	



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD APARENTE SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: 03	ORIGEN: CANTERA RIO ANZU
NORMA: NTE - INEN 858 ; ASTM C - 29	LUGAR: PROVINCIA DE NAPO
FECHA: 11/04/2013	REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA		
		No. 1	No. 2	No.3
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO				
1.- Peso del molde	g	1950	1950	1950
2.- Volumen del molde	cm ³	2887	2887	2887
3.- Peso del molde + Material Suelto	g	6331	6318	6325
4.- Material Suelto	g	4381	4368	4375
5.- Densidad Aparente Suelta	g/cm ³	1,52	1,51	1,52
DENSIDAD APARENTE SUELTA (PROMEDIO)		1,515	g/cm ³	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO				
1.- Peso del molde	g	1950	1950	1950
2.- Volumen del molde	cm ³	2887	2887	2887
3.- Peso del molde + Material Compactado	g	6741	6741	6731
4.- Material Compactado	g	4791	4791	4781
5.- Densiad Aparente Compactada	g/cm ³	1,66	1,66	1,66
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (PROMEDIO)		1,658	g/cm ³	



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD APARENTE SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO: 01

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

NORMA: NTE - INEN 858 ;
ASTM C - 29

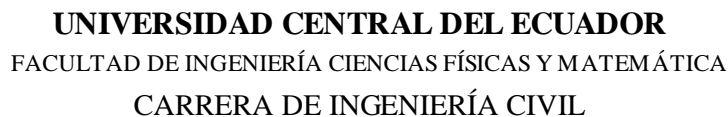
LUGAR: PROVINCIA DE NAPO

REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX

FECHA: 11/04/2013

YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA		
		No. 1	No. 2	No.3
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO				
1.- Peso del molde	g	1933	1933	1933
2.- Volumen del molde	cm ³	2905	2905	2905
3.- Peso del molde + Material Suelto	g	5896	5884	5899
4.- Material Suelto	g	3963	3951	3966
5.- Peso unitario suelto	g/cm ³	1,36	1,36	1,37
DENSIDAD APARENTE SUELTA (PROMEDIO)		1,363	g/cm ³	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO				
1.- Peso del molde	g	1933	1933	1933
2.- Volumen del molde	cm ³	2905	2905	2905
3.- Peso del molde + Material Compactado	g	6348	6392	6382
4.- Material Compactado	g	4415	4459	4449
5.- Peso unitario suelto	g/cm ³	1,52	1,53	1,53
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (PROMEDIO)		1,529	g/cm ³	





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD APARENTE SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO: 03

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

NORMA: NTE - INEN 858 ;
ASTM C - 29

LUGAR: PROVINCIA DE NAPO

REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX

FECHA: 11/04/2013

YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA		
		No. 1	No. 2	No.3
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO				
1.- Peso del molde	g	1933	1933	1933
2.- Volumen del molde	cm ³	2905	2905	2905
3.- Peso del molde + Material Suelto	g	5898	5918	5915
4.- Material Suelto	g	3965	3985	3982
5.- Peso unitario suelto	g/cm ³	1,36	1,37	1,37
DENSIDAD APARENTE SUELTA (PROMEDIO)		1,369	g/cm ³	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO				
1.- Peso del molde	g	1933	1933	1933
2.- Volumen del molde	cm ³	2905	2905	2905
3.- Peso del molde + Material Compactado	g	6372	6392	6364
4.- Material Compactado	g	4439	4459	4431
5.- Peso unitario suelto	g/cm ³	1,53	1,53	1,53
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (PROMEDIO)		1,529	g/cm ³	

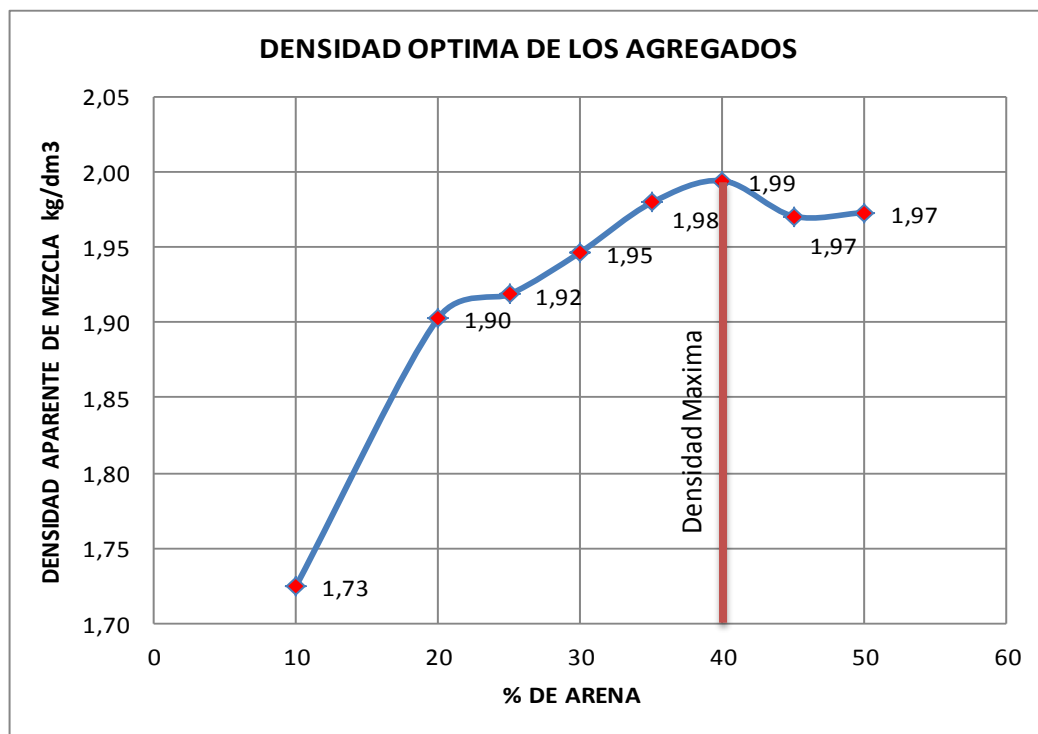


UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS

ENSAYO: 01
 ORIGEN: CANTERA RIO ANZ
 NORMA: NTE - INEN 858:2010
 LUGAR: PROVINCIA DE NAPA
 FECHA: 25/04/2013
 REALIZADO POR: QUINGALUISA ALE
 YUCATO EDGAR

MEZCLA %		MASA Kg.		AÑADIR ARENA Kg.	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (Kg.)			MASA DE LA MEZCLA (Kg.)	DENSIDAD APARENTE (Kg./dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA						
100	0	20,0	0,00	0,000					
90	10	20,0	2,22	2,222	7,046	7,048	7,008	5,062	1,73
80	20	20,0	5,00	2,778	7,566	7,545	7,555	5,583	1,90
75	25	20,0	6,67	1,667	7,599	7,610	7,594	5,629	1,92
70	30	20,0	8,57	1,905	7,670	7,686	7,694	5,711	1,95
65	35	20,0	10,77	2,198	7,756	7,774	7,809	5,808	1,98
60	40	20,0	13,33	2,564	7,831	7,835	7,802	5,851	1,99
55	45	20,0	16,36	3,030	7,770	7,765	7,726	5,782	1,97
50	50	20,0	20,00	3,636	7,772	7,750	7,760	5,789	1,97
45	55	20,0	24,44	4,444					



RESULTADOS: $\delta_{ap. \text{ Máxima}}$: 1,99 kg/dm³
 $\delta_{ap. \text{ óptima}}$: 1,982 kg/dm³



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS

ENSAYO: 02

ORIGEN: CANTERA RIO ANZI

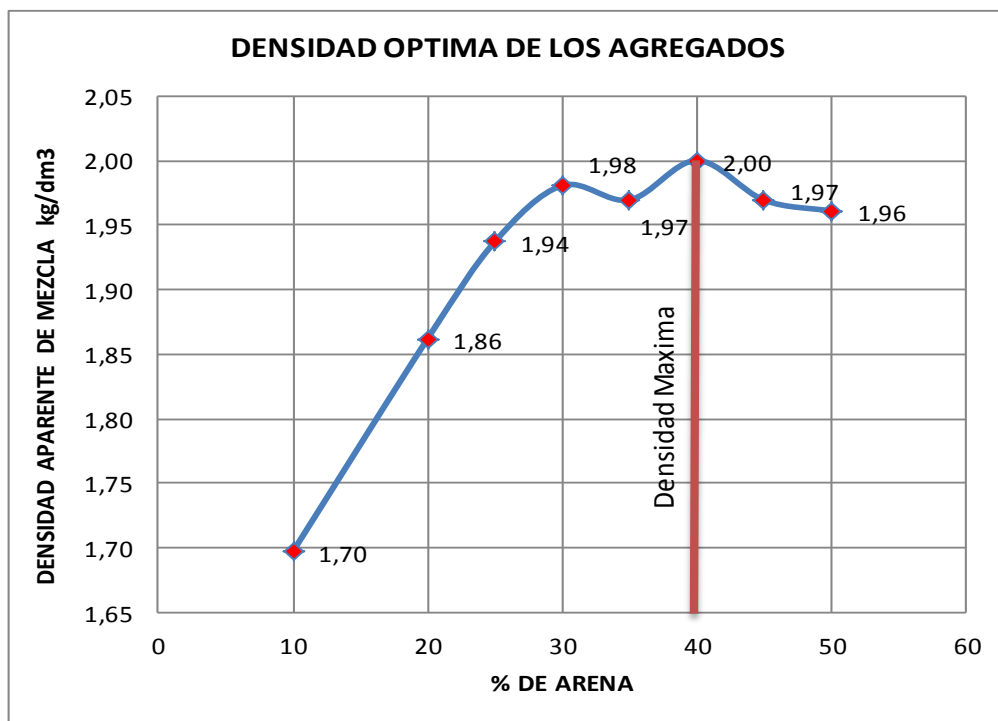
NORMA: NTE - INEN 858:2010

LUGAR: PROVINCIA DE NAPC

FECHA: 25/04/2013

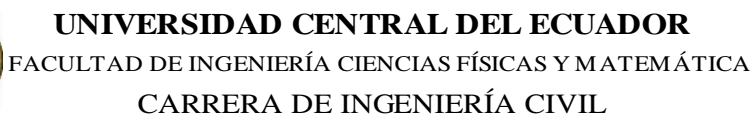
REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX
YUCATO EDGAR

MEZCLA %		MASA Kg.		AÑADIR ARENA Kg.	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (Kg.)			MASA DE LA MEZCLA (Kg.)	DENSIDAD APARENTE (Kg./dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA						
100	0	20,0	0,00	0,000					
90	10	20,0	2,22	2,222	7,009	6,908	6,937	4,979	1,70
80	20	20,0	5,00	2,778	7,449	7,426	7,429	5,463	1,86
75	25	20,0	6,67	1,667	7,631	7,668	7,667	5,683	1,94
70	30	20,0	8,57	1,905	7,798	7,781	7,770	5,811	1,98
65	35	20,0	10,77	2,198	7,776	7,745	7,730	5,778	1,97
60	40	20,0	13,33	2,564	7,824	7,834	7,850	5,864	2,00
55	45	20,0	16,36	3,030	7,734	7,764	7,752	5,778	1,97
50	50	20,0	20,00	3,636	7,724	7,725	7,726	5,753	1,96
45	55	20,0	24,44	4,444					



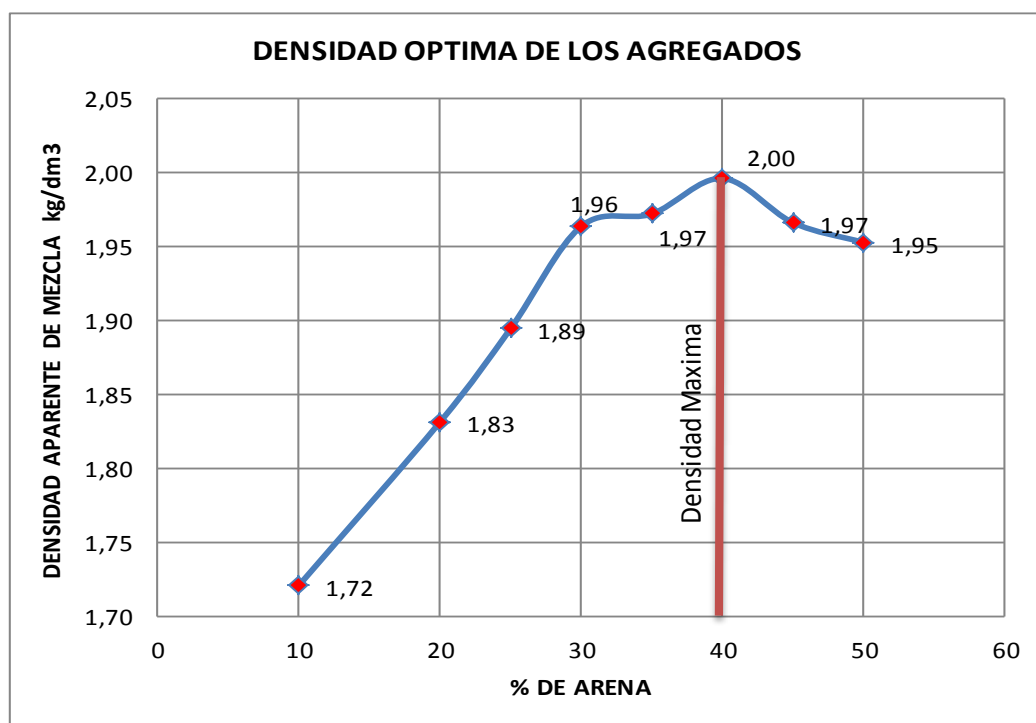
RESULTADOS: $\delta_{ap. \text{ Máxima}}$: 2,00 kg/dm³

$\delta_{ap. \text{ óptima}}$: 1,976 kg/dm³



ENSAYO: 03 ORIGEN: CANTERA RIO ANZU
NORMA: NTE - INEN 858:2010 LUGAR: PROVINCIA DE NAPO
FECHA: 25/04/2013 REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX YUCATO EDGAR

MEZCLA %		MASA Kg.		AÑADIR ARENA Kg.	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (Kg.)			MASA DE LA MEZCLA (Kg.)	DENSIDAD APARENTE (Kg./dm3)
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA						
100	0	20,0	0,00	0,000					
90	10	20,0	2,22	2,222	7,022	7,037	7,005	5,049	1,72
80	20	20,0	5,00	2,778	7,365	7,323	7,347	5,373	1,83
75	25	20,0	6,67	1,667	7,527	7,519	7,545	5,558	1,89
70	30	20,0	8,57	1,905	7,721	7,725	7,752	5,761	1,96
65	35	20,0	10,77	2,198	7,765	7,767	7,740	5,785	1,97
60	40	20,0	13,33	2,564	7,826	7,826	7,831	5,856	2,00
55	45	20,0	16,36	3,030	7,729	7,736	7,755	5,768	1,97
50	50	20,0	20,00	3,636	7,705	7,718	7,679	5,729	1,95
45	55	20,0	24,44	4,444					



RESULTADOS: $\delta_{ap. \text{ Máxima: } 2.00 \text{ kg/dm}^3}$
 $\delta_{ap. \text{ óptima: } 1,976 \text{ kg/dm}^3}$

5.6.7 GRANULOMETRÍA

Se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Esta granulometría se determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados, por abertura, de mayor a menor.

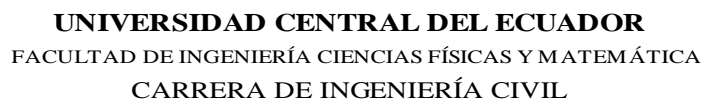
El ensayo de granulometría está estandarizado en la Norma ASTM C-136 y en la NTE INEN 696:2011. El ensayo consiste en hacer pasar el agregado a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben ajustarse a la norma establecida.

Los resultados serán plasmados en un diagrama (Porcentaje Que Pasa vs. Abertura del Tamiz), dándose un gráfico llamado curva granulométrica.

“La curva granulométrica debe estar dentro de los límites granulométricos establecidos en la norma. De esta manera, si la curva granulométrica de una muestra de agregado se ubica a la izquierda de sus límites significa que en la muestra predomina el material fino; mientras que si la curva tiende hacia la derecha, la muestra se compone principalmente de material grueso.

También se puede determinar la granulometría de un agregado mediante el módulo de finura, regida por la Norma ASTM C-125. Así, mientras menor sea el valor de este módulo, más fino es el material estudiado.” ³²

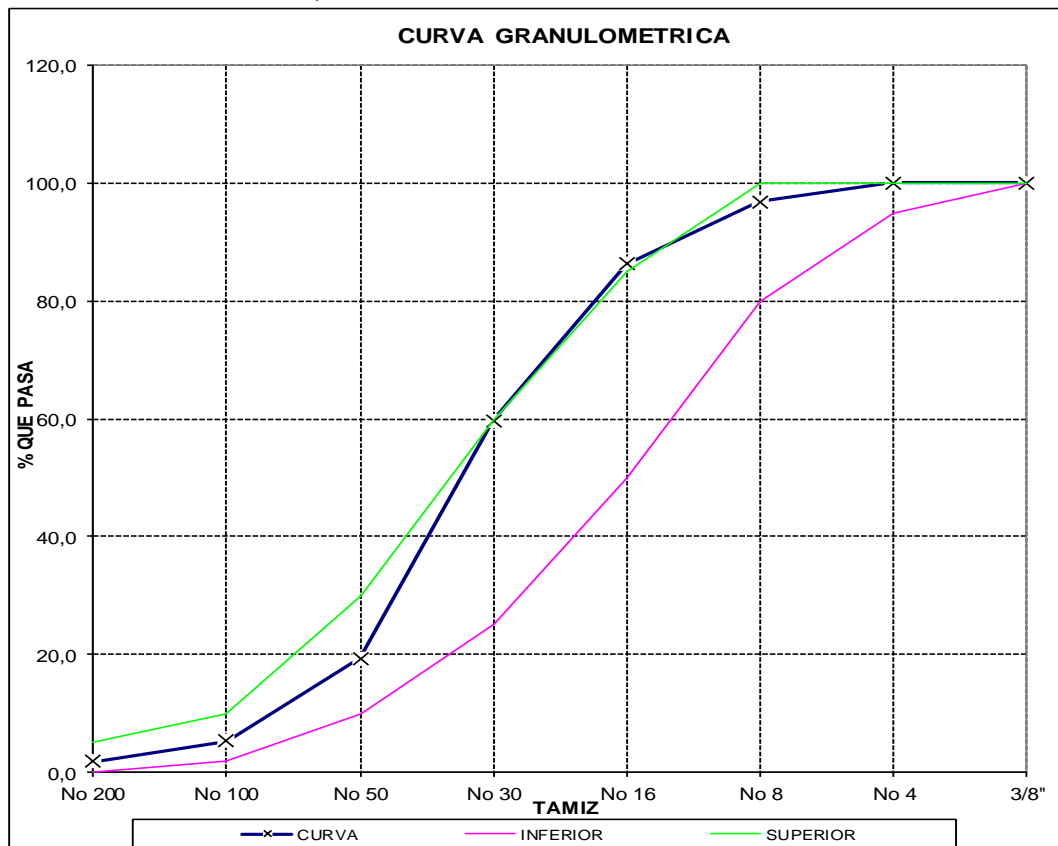
³² DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LAS CANTERAS DE PIFO, SAN ANTONIO DE PICHINCHA Y GUAYLLABAMBA, Autores: Morales Edison, Morocho José, Porras Erick, Sánchez Nelson, Ecuador 2012, Pág. 91.

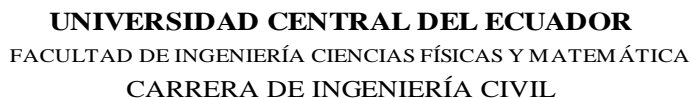


ENSAYO:	01	ORIGEN:	CANTERA RIO ANZU
NORMA:	NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136	LUGAR:	PROVINCIA DE NAPO
FECHA:	09/04/2013	REALIZADO POR:	QUINGALUISA ALEX
PESO:	566 g		YUCATO EDGAR

TAMIZ	PESO	PESO	%	%	LIMITES	
	RETENIDO	RETENIDO	RETENIDO	QUE	INFERIOR	SUPERIOR
	PARCIAL	ACUMULADO	ACUMULADO	PASA		
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
No 4	0,0	0,0	0,0	100,0	95,0	100,0
No 8	18,0	18,0	3,2	96,8	80,0	100,0
No 16	60,0	78,0	13,8	86,2	50,0	85,0
No 30	150,0	228,0	40,3	59,7	25,0	60,0
No 50	229,0	457,0	80,7	19,3	10,0	30,0
No 100	79,0	536,0	94,7	5,3	2,0	10,0
No 200	20,0	556,0	98,2	1,8	0,0	5,0
BANDEJA	10,0	566,0	100,0	0,0		
TOTAL	566,0					

CURVA GRANULOMETRICA



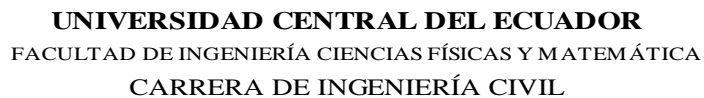


ENSAYO:	02	ORIGEN:	CANTERA RIO ANZU
NORMA:	NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136	LUGAR:	PROVINCIA DE NAPO
FECHA:	09/04/2013	REALIZADO POR:	QUINGALUISA ALEX
PESO:	584 g		YUCATO EDGAR

TAMIZ	PESO	PESO	%	%	LIMITES	
	RETENIDO	RETENIDO	RETENIDO	QUE	INFERIOR	SUPERIOR
	PARCIAL	ACUMULADO	ACUMULADO	PASA		
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
No 4	0,0	0,0	0,0	100,0	95,0	100,0
No 8	17,0	17,0	2,9	97,1	80,0	100,0
No 16	64,0	81,0	13,9	86,1	50,0	85,0
No 30	157,0	238,0	40,8	59,2	25,0	60,0
No 50	230,0	468,0	80,1	19,9	10,0	30,0
No 100	85,0	553,0	94,7	5,3	2,0	10,0
No 200	18,0	571,0	97,8	2,2	0,0	5,0
BANDEJA	13,0	584,0	100,0	0,0		
TOTAL	584,0					

CURVA GRANULOMETRICA

TAMIZ	CURVA (% QUE PASA)	INFERIOR (% QUE PASA)	SUPERIOR (% QUE PASA)
No 200	3.0	0.0	6.0
No 100	5.0	2.0	10.0
No 50	20.0	10.0	30.0
No 30	60.0	25.0	60.0
No 16	86.0	50.0	86.0
No 8	97.0	80.0	100.0
No 4	100.0	95.0	100.0
3/8"	100.0	100.0	100.0



ENSA YO: 03	ORIGEN:	CANTERA RIO ANZU
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136	LUGAR:	PROVINCIA DE NAPO
FECHA: 09/04/2013	REALIZADO POR:	QUINGALUISA ALEX
PESO: 573,1 g		YUCATO EDGAR

M.F.= 2,32





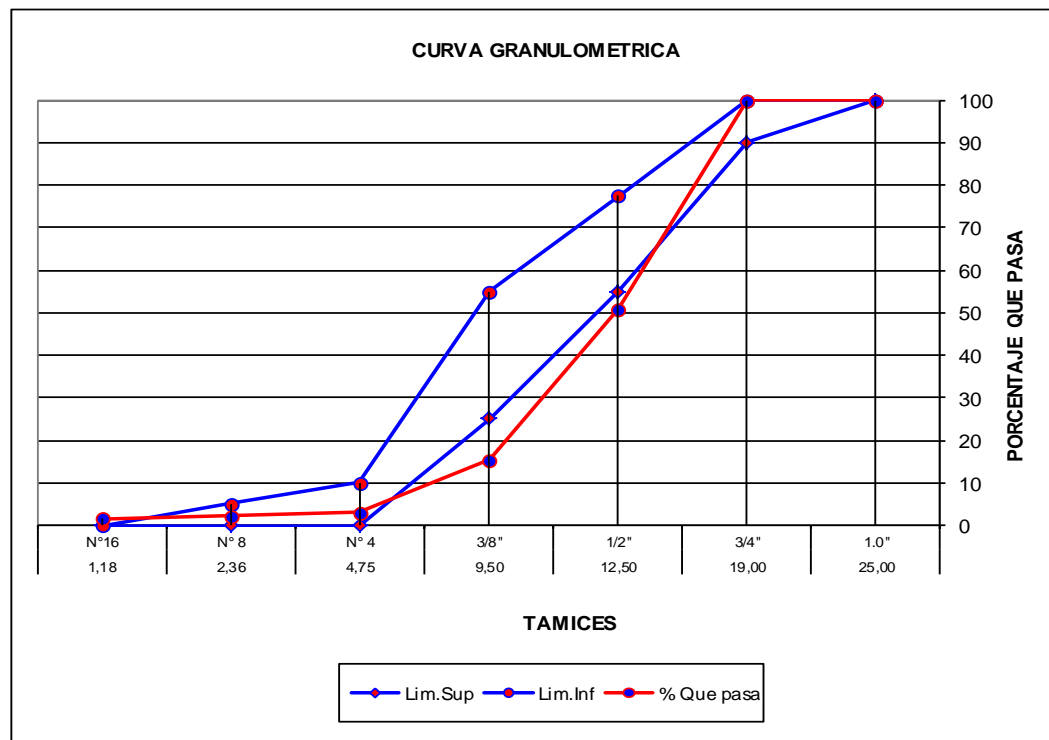
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO: 01
 NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136
 FECHA: 09/04/2013
 PESO: 6500 g
 TAMAÑO NOCANTERAL MAXIM 3/4 "

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU
 LUGAR: PROVINCIA DE NAPO
 REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX
 YUCATO EDGAR

Tamiz		Peso	%	%	%	TAMAÑO N°67	
mm.	#	Retenido	Retenido	Ret. Acum.	Que pasa	3/4" a N°4	
		grms.				Lim.Sup	Lim.Inf
25,00	1.0"	0	0	0	100	100	100
19,00	3/4"	0	0	0	100	90	100
12,50	1/2"	3200	49	49	51	55	77,5
9,50	3/8"	2300	35	85	15	25	55
4,75	N° 4	800	12	97	3	0	10
2,36	N° 8	52,6	1	98	2	0	5
1,18	N°16	42,2	1	98	2	0	0
SUMAS		6500					





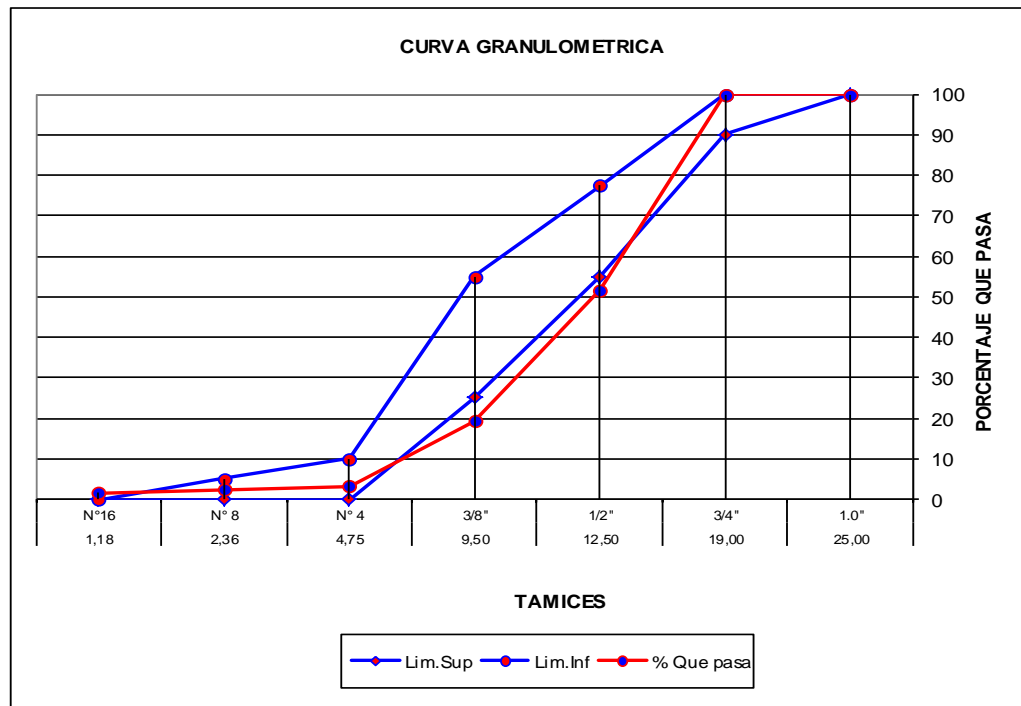
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO: 02
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136
FECHA: 09/04/2013
PESO: 6200 g
TAMAÑO NOCANTERAL MAXIMO 3/4 "

ORIGEN: CANTERA RIO ANZU
LUGAR: PROVINCIA DE NAPO
REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX
YUCATO EDGAR

Tamiz		Peso	%	%	%	TAMAÑO N°67	
mm.	#	Retenido	Retenido	Ret. Acum.	Que pasa	3/4" a N°4	
		grms.				Lim.Sup	Lim.Inf
25,00	1.0"	0	0	0	100	100	100
19,00	3/4"	0	0	0	100	90	100
12,50	1/2"	3000	48	48	52	55	77,5
9,50	3/8"	2000	32	81	19	25	55
4,75	N° 4	1000	16	97	3	0	10
2,36	N° 8	55,8	1	98	2	0	5
1,18	N°16	42,7	1	98	2	0	0
SUMAS		6200					





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO: 03

NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136

FECHA: 09/04/2013

PESO: 6200 g

TAMAÑO NOCANTERAL MAXIN 3/4 "

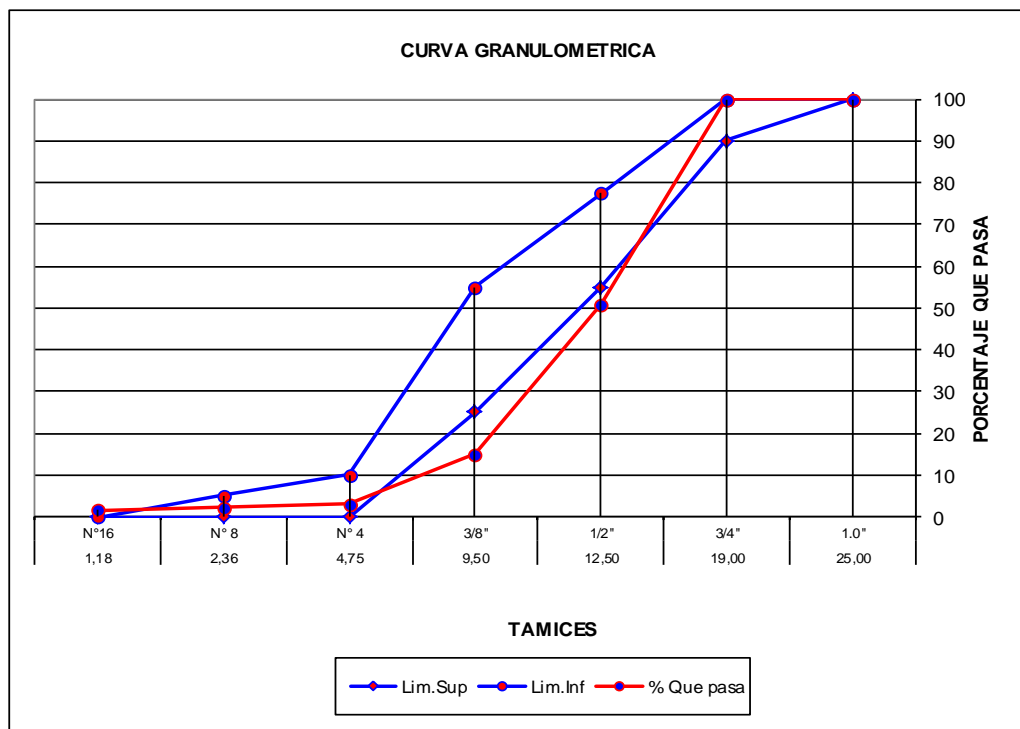
ORIGEN: CANTERA RIO ANZU

LUGAR: PROVINCIA DE NAPO

REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX

YUCATO EDGAR

Tamiz		Peso	%	%	%	TAMAÑO N°67	
mm.	#	Retenido	Retenido	Ret. Acum.	Que pasa	3/4" a N°4	
		grms.				Lim.Sup	Lim.Inf
25,00	1.0"	0	0	0	100	100	100
19,00	3/4"	0	0	0	100	90	100
12,50	1/2"	3300	49	49	51	55	77,5
9,50	3/8"	2400	36	85	15	25	55
4,75	N° 4	800	12	97	3	0	10
2,36	N° 8	50,0	1	98	2	0	5
1,18	N°16	43,7	1	98	2	0	0
SUMAS		6700					



5.7 ENSAYOS DEL CEMENTO

El hormigón está constituido de agregados + pasta cementante, al igual que los agregados es importante conocer las propiedades físicas del cemento a usarse en la investigación, ya que de éste dependerán significativamente las características y propiedades de la matriz cementante y por consiguiente del hormigón.

5.7.1 SELECCIÓN DEL CEMENTO

Para la fabricación de hormigón debemos seleccionar los materiales adecuados que lo conforman como son agregados y cemento. Para la selección del cemento, se la realiza de acuerdo a varios factores como son: ubicación de la obra, condiciones climáticas, exposiciones ambientales, tipo de hormigón a utilizarse.

En el Ecuador encontramos una gran variedad de cementos disponibles, es preciso distinguir entre los de utilización general y los idóneos para usos específicos, y la distinción se debe hacer en términos de resistencia mecánica, estabilidad de volumen y durabilidad.

Las marcas de cemento que existen son: Selva Alegre - Lafarge, Holcim, Chimborazo y Guapán. Para nuestra investigación hemos elegido el cemento Tipo IP SELVA ALEGRE PLUS, elaborado por la fábrica LAFARGE, debido a que es de uso más frecuente en el centro y norte del país.

5.7.2 SUPERFICIE ESPECÍFICA (FINURA)

“La superficie específica se define como el área superficial exterior de las partículas contenidas en un gramo de cemento y se expresa en cm^2/g .”³³

³³ INVESTIGACIÓN SOBRE EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN, Ing. Marco Garzón, Año 2010, Pág. 16

La importancia de la finura en el cemento radica en que a mayor finura el cemento desarrolla mayor resistencia pero desprende más calor; esto es debido principalmente, a que granos gruesos pueden durar varios años en hidratarse, e inclusive no llegar jamás a realizarlo totalmente, mientras que, cuanto más fino sea el cemento, mayor será la cantidad de material que se hidrata, ya que la superficie total en contacto con el agua es mucho más grande. Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan solo en una profundidad de 0.01 mm por lo que si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte.

Los ensayos para determinar la finura del cemento están establecidas en la Norma ASTM C-204 y la NTE INEN 196:09; se lo realiza mediante el Permeabilímetro de Blaine; mientras que en la Norma ASTM C-115 se utiliza el turbidímetro de Wagner.

5.7.3 DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

La densidad del cemento es la relación de la masa del cemento entre el volumen desplazado por el cemento, se expresa en gr/cm^3 , y oscila entre los valores de 2.9 a 3.15 (gr/cm^3).

El ensayo de densidad real del cemento se encuentra estandarizada en la norma ASTM C-188 y la NTE INEN 156:09; la densidad se puede determinar con el método del frasco de Le-Chatelier o con el método del Picnómetro, ambos métodos consiste en colocar una masa de cemento seca, en el interior del frasco previamente lleno de gasolina hasta un nivel marcado. El cemento introducido desplaza el líquido hasta un segundo nivel que queda dentro de una escala graduada y permite conocer, por lectura directa, el volumen de la masa de cemento. Este valor se usa luego para calcular la densidad.

La principal utilidad que tiene el peso específico del cemento está relacionada con el diseño y control de mezclas de hormigón.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD ABSOLUTA DEL CEMENTO

ENSAYO: 01

ORIGEN: CEMENTO (SELVALEGRE) PLUS

NORMA: NTE - INEN 156:2009;

LUGAR: PROVINCIA DE NAPO

ASTM C - 188

REALIZADO POR: QUINGALUISA ALEX

FECHA: 17/05/2013

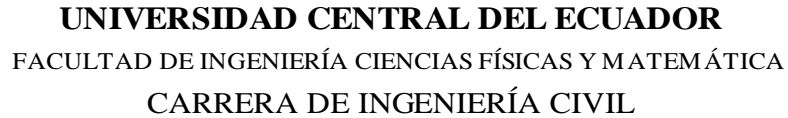
YUCATO EDGAR

METODO DE LECHATLIER

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
		No. 1
1.- Lectura inicial del frasco + gasolina	cm ³	0,70
2.- Masa inicial del frasco + gasolina	g	326,00
3.- Lectura final del frasco + gasolina + cemento	cm ³	21,50
4.- Masa final del frasco + gasolina + cemento	g	388,50
5.- Densidad del cemento	g/cm³	3,00

METODO DEL PICNOMETRO

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
		No. 1
1.- Masa del picnometro vacío	g	171,1
2.- Masa del picnómetro + cemento	g	411,4
3.- Masa del cemento	g	240,3
4.- Masa del picnómetro + cemento + gasolina	g	720,2
5.- Masa del picnómetro + 500 cc de gasolina	g	540,20
6.- Densidad de la gasolina	g/cm ³	0,74
7.- Masa del cemento en gasolina	g	60,30
8.- Volumen de la gasolina	cm ³	81,69
9.- Determinación de la densidad del cemento	g/cm³	2,94



ENSAYO DE DENSIDAD ABSOLUTA DEL CEMENTO

YUCATO EDGAR

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
		No. 2
1.- Lectura inicial del frasco + gasolina	cm ³	0,7
2.- Masa inicial del frasco + gasolina	g	323,7
3.- Lectura final del frasco + gasolina + cemento	cm ³	22,0
4.- Masa final del frasco + gasolina + cemento	g	386,9
5.- Densidad del cemento	g/cm³	2,97

PROCEDIMIENTO	UNIDAD	MUESTRA
		No. 2
1.- Masa del picnometro vacío	g	152,3
2.- Masa del picnómetro + cemento	g	353,6
3.- Masa del cemento	g	201,3
4.- Masa del picnómetro + cemento + gasolina	g	670,5
5.- Masa del picnómetro + 500 cc de gasolina	g	520,0
6.- Densidad de la gasolina	g/cm ³	0,74
7.- Masa del cemento en gasolina	g	50,80
8.- Volumen de la gasolina	cm ³	69,08
9.- Determinación de la densidad del cemento	g/cm³	2,91

5.7.4 CONSISTENCIA NORMAL

Para determinar el principio y final de fraguado del cemento, es necesario determinar primeramente el contenido de agua que la pasta necesita para producir una pasta de características específicas como fluidez óptima y plasticidad ideal, es decir el contenido de agua que el cemento necesita para adquirir una consistencia normal según la norma correspondiente.

El ensayo de consistencia normal se encuentra estandarizado en la Norma ASTM C-187 y la NTE INEN 157:09, para este ensayo se utiliza el Aparato de Vicat, el método para determinar la consistencia, se basa en la resistencia que opone la pasta de cemento a la penetración de la sonda de Tetmayer del aparato de Vicat. La pasta se considera de consistencia normal, cuando la sonda penetra 10 milímetros ± 1 mm a los 30 segundos de haber sido soltada. El contenido de agua de la pasta estándar se expresa como porcentaje en peso de cemento seco, y el valor normal varía entre 25 y 33 %, sin embargo estos valores establecidos varían de acuerdo a las condiciones en que se realice el ensayo.

Una parte complementaria de la consistencia normal del cemento es la determinación de los tiempos de fraguado, donde se realiza ensayos en pastas de cemento hidráulico de consistencia normal, preparadas de acuerdo a la NTE INEN 157 las que se mantienen en un cuarto de curado donde inicia el proceso de fraguado. Se realizan penetraciones periódicas en la pasta utilizando la aguja de Vicat de 1 mm de diámetro obteniendo así:

- ✓ El tiempo de fraguado inicial, es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la penetración medida o calculada es de 25 mm.
- ✓ El tiempo de fraguado final, es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la aguja no deja una impresión circular completa en la superficie de la pasta.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL

ENSAYO:	01	ORIGEN:	CEMENTO (SELVALEGRE) PLUS
NORMA:	NTE - INEN 158:2009; ASTM C - 191 -79	LUGAR:	PROVINCIA DE NAPO
FECHA:	23/06/2013	REALIZADO POR:	QUINGALUISA ALEX YUCATO EDGAR
TEMPERATURA:	21 ° C		

MUESTRA N° 1

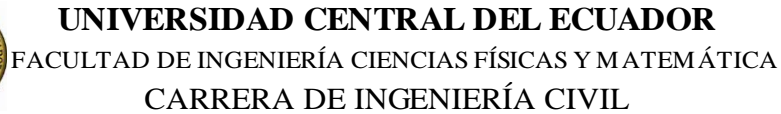
COSISTENCIA NORMAL

PROCEDIMIENTO	UNIDADES	MUESTRA
		N° 1
A.- Masa del material de Ensayo	g	650
B.- Cantidad requerida de Agua	g	175,5
C.- Consistencia	%	27,00

TIEMPOS DE FRAGUADO

PROCEDIMIENTO	PENETRACIÓN	HORA LOCAL	TIEMPO ACUMULADO
	mm		
TIEMPO INICIAL DE ENSA YO		9:16:00	0:00:00
PENETRACIÓN DE AGUJA	40	10:16:00	1:00:00
	26	11:46:00	2:30:00
	19	12:01:00	2:45:00
	0	15:33:00	6:17:00

TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL =	2:32:09
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL =	6:17:00



ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL

ORIGEN: CEMENTO (SELVALEGRE) PLUS

LUGAR: PROVINCIA DE NAPOC

YUCATO EDGAR

5.8 MEZCLAS DE PRUEBA

Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los materiales seleccionados anteriormente como son agregados y cemento, procedemos a determinar una dosificación estándar con el propósito de realizar mezclas de prueba y así indicar los ajustes y correcciones que se deben hacer en la dosificación de acuerdo con los resultados obtenidos y con las especificaciones establecidas.

“Dosificar una mezcla de hormigón es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse.”³⁴

En la presente investigación se realizó un diseño de mezclas que alcance una resistencia especificada de 24 MPa a los 28 días de edad. Para ello existen algunos métodos de cálculo como el ACI y el método de densidades Óptimas de los Agregados, cada uno está basado en el uso de ecuaciones y tablas, las cuales nos darán como resultado las cantidades que se necesitan para fabricar un metro cúbico de hormigón.

El método usado para la dosificación de mezclas en esta investigación es el de Densidad Óptima de los Agregados, debido a que se utiliza la cantidad de pasta mínima necesaria para obtener un hormigón de buena calidad, para esto debemos obtener una combinación de agregados finos y gruesos que cumpla con las proporciones óptimas dadas en el ensayo de Densidad Aparente Suelta y Compactada de los Agregados, y que deje los vacíos necesarios para ser rellenado por la pasta obteniendo una buena trabajabilidad.

El proceso de diseño de este método se lo realiza de la siguiente manera:

³⁴ *CONCRETO SIMPLE, Ing. Gerardo Rivera, Pág. 169*

1. Fijamos una cantidad de grava que produzca aproximadamente la cantidad de hormigón que necesitemos para las mezclas de prueba, y se calcula en base a ella la cantidad de arena que corresponde a la cantidad máxima de la mezcla de granulados.
2. Calculamos el porcentaje de vacíos que deja la mezcla de granulados, y de esta encontramos el volumen de aire que tiene esa mezcla, este volumen de aire será igual al volumen de la pasta agua-cemento que interviene en la mezcla de prueba; se lo calcula mediante las siguientes ecuaciones:

1. Densidad Óptima de la Mezcla de Agregados en estado SSS.

$$DSSS_{MEZCLA} = \%Arena * DSSS_{ARENA} + \%Ripio * DSSS_{RIPIO}$$

2. Porcentaje de Vacíos.

$$\% Vacios = \left(1 - \frac{\delta_{apc}}{DSSS_{MEZCLA}} \right) \times 100 = \%$$

3. Volumen Aparente de la Mezcla de Granulado.

$$V_{ap} = \frac{(M_{ARENA} + M_{RIPIO})}{\delta_{apc}} \times 100 = dcm^3$$

4. Volumen de Vacíos = Volumen de Pasta.

$$V_v = V_{pasta} = \frac{V_{ap} * \%Vacios}{100} = dcm^3$$

3. Después obtenemos la relación agua/cemento de la tabla N° 4.1 registrado anteriormente, con ello calculamos la densidad de la pasta y transformamos a masa la cantidad de pasta, de aquí las masas por separado del cemento y del agua que entran en la mezcla.

1. Masa de la Pasta.

$$\text{Masa de la Pasta} = 1 \text{ kg} + \frac{A}{C} \text{ kg}$$

2. Volumen de Pasta.

$$\text{Volumen de Pasta} = \frac{1}{\delta_{\text{CEMENTO}}} + \frac{a/c}{1} = \text{dcm}^3$$

3. Densidad de la Pasta.

$$\delta_{\text{pasta}} = \frac{\text{Masa de la Pasta}}{\text{Volumen de la Pasta}}$$

4. Cantidad de pasta en Masa.

$$Pp = V_{\text{vacios}} \times \delta_{\text{pasta}}$$

5. Cantidad de Agua.

$$\text{Agua} = \frac{Pp \times a/c}{\text{Masa de la Pasta}} = \text{Kg}$$

6. Cantidad de Cemento.

$$\text{Cemento} = \frac{Pp \times 1}{\text{Masa de la Pasta}} = \text{Kg}$$

4. Una vez que conocemos todas las cantidades en masa, determinamos la dosificación estándar, se podrán calcular las cantidades para fabricar 6 cilindros de 100 x 200 mm, asumiendo que cada cilindro pesa aproximadamente 5 kg de hormigón fresco.
5. Previo a la mezcla de prueba, se debe realizar la corrección de humedad de los agregados. Para ello, se deberán calcular los contenidos de humedad tanto de la arena como del ripio para conocer la cantidad de agua por reducir o aumentar.”³⁵

³⁵ DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 60 - 62

5.9 DOSIFICACIONES DE PRUEBA PARA OBTENER LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE $f'_c = 24 \text{ MPa}$

A continuación presentamos el diseño de hormigón realizado por el método de Densidades Óptimas de los Agregados a base de los materiales seleccionados. De la muestra realizada se tomarán 6 cilindros, cuyos moldes tienen dimensiones de 100 x 200 mm.

Datos Promedios de los Ensayos Realizados:

MATERIAL	Dsss	δ ap. C.	% de Abs.	% de Hum.	M. F.
Arena	2,64	1,66	1,42	0,40	2,30
Ripio	2,68	1,53	1,47	0,30	7,37
Densidad del cemento	2,99	Densidad Optima del Agregado Compactado			1,976

Procedimiento de Diseño:

1. Para la elaboración de cada molde se necesita 5 kg de mezcla por lo que se ha asumido una cantidad de:

$$\text{Ripio} = 16 \text{ kg.}$$

2. Porcentajes de material de acuerdo al ensayo de densidad máxima de los agregados:

Material	%
Ripio	64
Arena	36

3. Cantidad de Arena:

$$\text{Arena} = \frac{\text{Ripio}(kg) * \% \text{Arena}}{\% \text{Ripio}} = \frac{16 \text{ kg} * 36}{64} = 9,00 \text{ kg}$$

4. Densidad SSS.

$$D_{SSS} = \%Arena * D_{SSS}Arena + \%Ripio * D_{SSS}Ripio$$

$$D_{SSS} = 36\% * 2.64 \frac{kg}{dcm^3} + 64\% * 2.68 \frac{kg}{dcm^3}$$

$$D_{SSS} = 2.666 \frac{kg}{dcm^3}$$

5. Porcentaje de vacíos.

$$\% de vacíos = \left(1 - \frac{D_{Apc.}}{D_{SSS}} \right) * 100$$

$$\% de vacíos = \left(1 - \frac{1.976 \frac{kg}{dcm^3}}{2.666 \frac{kg}{dcm^3}} \right) * 100$$

$$\% de vacíos = 25.88 \%$$

6. Volumen Aparente de la mezcla.

$$V_{ap.} = \frac{Masa}{D_{Apc.}}$$

$$V_{ap.} = \frac{16 kg + 9 kg}{1.976 \frac{kg}{dcm^3}}$$

$$V_{ap.} = 12.65 dcm^3$$

7. Volumen de Pasta o volumen de Vacíos.

$$V_v = V_{pasta} = \frac{V_{ap} * \% \text{ de vacíos}}{100}$$

$$V_{pasta} = \frac{12.65 \text{ dcm}^3 * 25.88\%}{100}$$

$$V_{pasta} = 3.27 \text{ dcm}^3$$

8. Relación agua/cemento de acuerdo a la tabla N° 4.1

Para una Resistencia $f_c = 24 \text{ MPa}$.

Resistencia Promedio Requerida – f_{cr}

TABLA N° 5.5. Resistencia Promedio Requerida – f_{cr}

Resistencia Especificada (f_c)	Resistencia Requerida (f_{cr})
Menor de 20 MPa	$f_c + 7,0$
Entre 20 y 35 MPa	$f_c + 8,5$
Mayor a 35 MPa	$f_c + 10,0$

FUENTE: DOSIFICACION DE MEZCLAS, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 18

$$f_{cr} = 24 + 8,50 = 32,5 \text{ MPa}$$

La relación Agua/ Cemento para el f_{cr} es:

$$A/C = 0.52, \text{ Valor Interpolado.}$$

9. Cantidad de Pasta.

La relación agua/cemento se expresa en masa, lo cual quiere decir, en este caso, que por cada 1 kg de cemento se emplean 0,52 kg de agua.³⁶

$$\text{Masa de Pasta} = 1 \text{ kg} + 0.52 \text{ kg} = 1.52 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de la Pasta} = \frac{1}{2.99} + \frac{0.52}{1} = 0.854 \text{ dcm}^3$$

$$\text{Densidad de Pasta} = \frac{1.52 \text{ kg}}{0.854 \text{ dcm}^3} = 1.779 \frac{\text{kg}}{\text{dcm}^3}$$

$$P_{\text{pasta}} = V_{\text{pasta}} * D_{\text{pasta}} = 3.27 \text{ dcm}^3 * 1.779 \frac{\text{kg}}{\text{dcm}^3} = 5.82 \text{ kg}$$

10. Cantidad de Agua y Cemento.

$$\text{Agua} + \text{Cemento} = 5.817 \text{ kg (en la mezcla de prueba)}$$

$$\text{Agua} + \text{Cemento} = 1.52 \text{ kg (en una cantidad unitaria de pasta)}$$

$$\text{Cantidad de Agua} = \frac{5.82 * 0.52}{1.52} = 1.99 \text{ kg}$$

$$\text{Cantidad de Cemento} = \frac{5.82 * 1}{1.52} = 3.83 \text{ kg}$$

³⁶ DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 60 - 62

11. Cantidades de materiales.

Material	Peso	Unidad	Dosificación
Agua	1.99	Lt o Kg	0,52
Cemento	3.83	Kg	1,00
Arena	9.00	Kg	2.35
Ripio	16.00	Kg	4.18
Total	30.82	Kg	

12. Corrección de los agregados.

✓ Arena.-

$$Agua = P_{Arido} * \frac{\%Absorción - \%Humedad}{100 + \%Absorción}$$

$$Agua = 9.00 * \frac{1.42 - 0.4}{100 + 1.42}$$

$$Agua = 0.09 \text{ lit.}$$

✓ Ripio.-

$$Agua = P_{Arido} * \frac{\%Absorción - \%Humedad}{100 + \%Absorción}$$

$$Agua = 16.00 * \frac{1.47 - 0.3}{100 + 1.47}$$

$$Agua = 0.18 \text{ lit.}$$

13. Cantidades Corregidas por Absorción.

Material	Peso	Unidad	Dosificación
Agua	2.26	Lt. o Kg	0.52
Cemento	4,35	Kg	1,00
Arena	8.91	Kg	2,05
Ripio	15.90	Kg	3.66

14. Cantidades Corregidas en la Mezcla.

Material	Peso	Unidad	Dosificación
Agua	3.19	Litros	0.52
Cemento	6.13	Kilos	1,00
Arena	8,96	Kilos	1.46
Ripio	15,94	Kilos	2.60

5.10 PROYECCIÓN EN BASE A LA RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS

Una vez determinada la dosificación, realizamos mezclas para verificar la resistencia establecida en el diseño, ya que la resistencia a la compresión del hormigón f_c nos debe dar a los 28 días de edad.

También se puede medir la resistencia a la compresión en edades más tempranas, es decir, a los 7, 14 y 21 días, con la finalidad de aprobar las proporciones o dosificaciones de las mezclas de hormigón. Esta consideración se basa según el estudio hecho sobre el incremento de resistencia a la compresión a través del tiempo.

Sabemos que el hormigón adquiere una resistencia mayor cuando se cura constantemente permitiendo la realización de reacciones químicas del cemento para su endurecimiento. De esta manera, mientras mayor tiempo se encuentre en ambientes saturados de humedad, mayor resistencia tendrá; esto se puede verificar en la Grafica N°4.1 colocada anteriormente.

En conclusión podemos decir que el hormigón aumenta su resistencia a la compresión a lo largo del tiempo y de acuerdo al curado recibido, para tener una idea del incremento de resistencia que debe tener el hormigón según edades previstas presentamos la siguiente tabla:

TABLA N° 5.6. Porcentaje de Resistencia a la Compresión a diferentes Edades

DIAS	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (% f_c)	
	Min.	Max.
7	65	75
14	80	90
21	88	98
28	95	105

FUENTE: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/04/edad-del-hormigon-en-la-prueba.html>

Para nuestra investigación, se considerarán apropiadas las dosificaciones para los hormigones cuando el resultado de los ensayos de compresión de los cilindros de prueba a los 7 días se enmarquen entre un 65% a 75% de la resistencia a la compresión deseada a los 28 días. Los resultados de los ensayos realizados a los cilindros de prueba se detallan a continuación: ³⁷

³⁷ DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LAS CANTERAS DE PIFO, SAN ANTONIO DE PICHINCHA Y GUAYLLABAMBA, Autores: Morales Edison, Morocho José, Porras Erick, Sánchez Nelson, Ecuador 2012, Pág. 147.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO DE COMPRESION REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGON
NORMAS: ASTM C-39; NTE INEN - 1573

METODO: Densidad Óptima de los Agregados ORIGEN: Cantera Río Ánzu
FECHA DE MUESTREO: 10 de Julio del 2013 LUGAR: Provincia del Napo
FECHA DE ENSAYO (7 días): 17 de Julio del 2013 RESISTENCIA (28 días) f'c: 24 MPa
FECHA DE ENSAYO (56 días): 04 de Septiembre del 2013 REALIZADO POR: Quingaluisa Saez Alex
DOSIFICACION EN OBRA : 0.50; 1.00; 1.46; 2,60
ASENTAMIENTO: 7,0 cm

COMPRESION DE CILINDROS A LOS 7 DIAS							
MUESTRA	EDAD	ALTURA	DIAMETRO	SECCION	CARGA	ESFUERZO	%
	días	cm	mm	mm2	kg	MPa	RECUP.
1	7	20,30	104	8494,87	18365,10	21,62	90,08
			104				
2	7	20,30	103	8251,59	15614,60	18,92	78,85
			102				
3	7	19,90	103	8251,59	17691,10	21,44	89,33
			102				
4	7	20,00	102	8091,37	14391,30	17,79	74,11
			101				
				Resultado Promedio =		19,94	83,09
COMPRESION DE CILINDROS A LOS 56 DIAS							
MUESTRA	EDAD	ALTURA	DIAMETRO	SECCION	CARGA	ESFUERZO	%
	días	cm	mm	mm2	kg	MPa	RECUP.
5	56	19,90	104	8659,01	24753,70	28,59	119,11
			106				
6	56	20,10	104	8413,38	23218,20	27,60	114,99
			103				
				Resultado Promedio =		28,09	117,05

CAPITULO 6

MÉTODOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN Y COMPRESIÓN

6.1 SELECCIÓN DE MÉTODOS

Una parte complementaria a nuestra investigación es la realización de ensayos a los elementos de hormigón realizados con la dosificación determinada anteriormente, con el objetivo de comprobar las características de fabricación del hormigón indicadas en las especificaciones y de determinar las propiedades del hormigón endurecido.

Para lo cual hay métodos de ensayos a tracción y compresión que se realizan a los elementos de hormigón, estos ensayos son de gran importancia en las obras sobre todo el ensayo de compresión debido a que es fundamental conocer la resistencia del hormigón que se coloca en la obra.

Para nuestra investigación se realizó los siguientes elementos de hormigón y su respectivo método de ensayo, con la finalidad de obtener los resultados propuestos.

TABLA N° 6.1. Tabla de Ensayos a realizarse.

ELEMENTOS DE PRUEBA	ENSAYO	NORMA	
		ASTM	INEN
Cilindros Estándar (100 x 200)mm	Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Hormigón.	ASTM C - 39	NTE INEN 1573:2010
Cilindros Estándar (150 x 300)mm	Método Estándar de Ensayo para Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson del Hormigón en Compresión.	ASTM C - 469	
Vigas Estándar (150 x 150 x 500) mm	Método Estándar de Ensayo para Resistencia a la Flexión del Hormigón (Usando Vigas Simples con a los tercios del claro)	ASTM C - 78	NTE INEN 2554:2011
Vigas de Hormigón Armado (150 x 250x250) mm	Método Estándar de Ensayo para determinar fisuras y deflexiones (Usando Vigas de Hormigón Armado con carga a los tercios del claro)	ASTM C - 78	NTE INEN 2554:2011

FUENTE: Normas ASTM

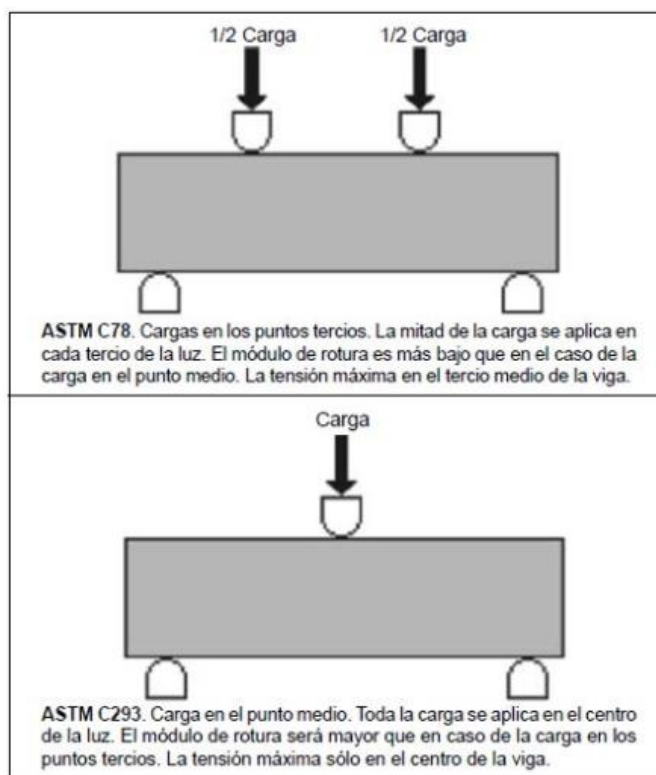
6.2 ENSAYOS A TRACCIÓN

Los ensayos de tracción que se realizan a los elementos de hormigón, sirven para determinar la resistencia a la flexión o conocida como módulo de rotura del hormigón. A continuación describimos los dos ensayos que se utiliza para determinar el módulo de rotura del hormigón.

6.2.1 MÉTODO DE ENSAYO A FLEXIÓN

Es el principal ensayo que se realiza a una probeta de hormigón para determinar la Resistencia a la Flexión y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).

FIGURA N° 6.1. Ensayos a Tracción del Hormigón



FUENTE: <http://civilgeeks.com/2011/03/18/resistencia-a-la-flexion-del-concreto/>

6.2.2 MÉTODO DE ENSAYO INDIRECTO DE TRACCIÓN O HENDIMIENTO

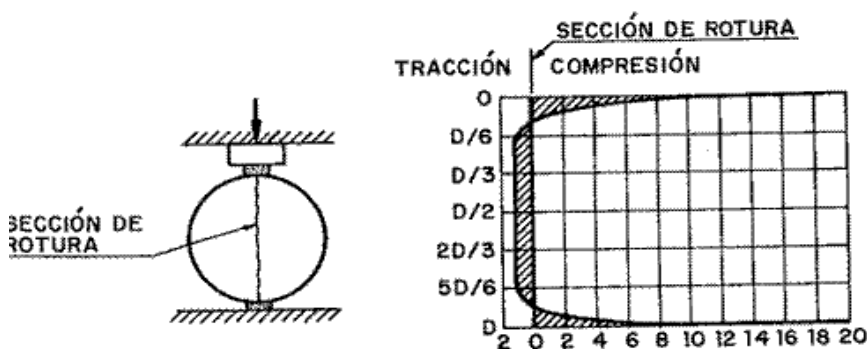
El ensayo de tracción por hendimiento o conocido como ensayo Brasileiro, es un método experimental ampliamente utilizado para medir la resistencia a tracción del hormigón, en este ensayo se utilizan cilindros de hormigón de dimensiones ($D = 150 \text{ mm}$ y $L = 300 \text{ mm}$). Este método se rige en la norma ASTM C-496.

El ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica de hormigón, en la cual aplicamos la carga de manera uniforme a los largo del cilindro formando una línea o generatriz hasta alcanzar la rotura.

“Esta carga induce esfuerzos a la tensión en el plano donde se aplica la carga y esfuerzos a la compresión relativamente altos en el área alrededor de la carga aplicada.

La falla a la tracción ocurre antes de la falla a la compresión debido a que las áreas de aplicación de carga están en un estado de compresión triaxial, permitiendo de esa manera resistir mucho mayor esfuerzo a la compresión que el obtenido por un esfuerzo a la compresión uniaxial.”³⁹

FIGURA N° 6.3. Ensayo de Tracción Indirecto



FUENTE: <http://notasdehormigonarmado.blogspot.com/2011/04/8-metodo-de-ensayo-traccion-indirecta.html>

³⁹ <http://www.buenastareas.com/ensayos/Resistencia-a-La-Tracci%C3%B3n-Por-Compresi%C3%B3n/25110881.html>

6.3 ENSAYOS A LA COMPRESIÓN⁴⁰

Cuando el hormigón haya endurecido podemos realizar el ensayo de resistencia a la compresión, ya que muchas de las características del hormigón están relacionadas cualitativamente con su resistencia, siendo una de ellas la resistencia a la compresión del hormigón que debemos comprobar con la propuesta en el diseño de la mezcla.

Este ensayo se determina mediante la aplicación de carga a probetas cilíndricas de hormigón hasta que se fracturen o se rompan. Las dimensiones de los cilindros estándar deben ser tales que la altura sea el doble que el diámetro, para lo cual existen dos tipos de probetas cilíndricas que se utiliza de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso, así tenemos:

- ✓ Se utiliza probetas de dimensiones (100 mm de diámetro y 200 mm de altura) cuando tenemos un tamaño máximo nominal del agregado grueso menor a 1 pulgada (25 mm).
- ✓ Se utiliza probetas de dimensiones (150 mm de diámetro y 300 mm de altura) cuando tenemos un tamaño nominal máximo del agregado grueso mayor o igual a 1 pulgada (25 mm).

6.4 NORMA ASTM – C78

La Norma ASTM – C78 o conocida en nuestro país como la norma NTE INEN 2554:2011, tiene el nombre de “Método Estándar de Ensayo para Resistencia a la Flexión del Hormigón (Usando viga simple con carga a los tercios del claro)”.

⁴⁰ DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LAS CANTERAS DE PIFO, SAN ANTONIO DE PICHINCHA Y GUAYLLABAMBA. – Autores: Morales Edison, Morocho José, Porras Erick, Sánchez Nelson., Ecuador 2012, Pág. 157

Esta norma tiene como finalidad determinar el esfuerzo a la flexión del hormigón mediante la utilización de una viga aplicada la carga a los tercios de la luz. La carga aplicada es continua, sin impacto a una velocidad constante. La resistencia a la flexión se determina por medio del módulo de rotura según las expresiones que se indican en esta norma.

Para poder realizar esta prueba se necesitan los siguientes equipos:

- ✓ **Máquina de ensayo.-** La máquina de ensayo deberá tener la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas, debe ser calibrada de acuerdo a la norma ASTM E4. Para nuestra investigación utilizamos la Máquina Universal con capacidad de 60 toneladas
- ✓ **Aparatos de Carga.-** Es un acople metálico con dos puntos de aplicación de cargas que se incrustará en la parte superior de la cámara de ensayo de la Máquina Universal, el cual permitirá la aplicación perpendicular de la carga a la cara de la viga.
- ✓ **Placa de descanso de la viga.-** Es un elemento metálico con extremos sobresalidos que se pondrá en la parte inferior de la cámara de ensayo de la Máquina de Universal. Este elemento funcionara como apoyo de la viga al momento de realizar el ensayo.

El Módulo de Resistencia a la Tracción del Hormigón se le calcula de dos maneras:

1. Si la fractura se produce en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre y no sobrepasa en más del 5%, calcular el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Ecuación 6.1 Módulo de Rotura dentro del tercio medio de la luz libre.

Donde:

R = módulo de rotura, en MPa.

P = carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo, en N.

L = Luz libre, en mm.

b = promedio del ancho del espécimen, en la fractura, en mm.

d = promedio de la altura del espécimen, en la fractura, en mm.

2. Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, pero no más allá del 5% de la luz libre, calcular el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = \frac{3P * a * L}{b * d^2}$$

Ecuación 6.2 Módulo de Rotura fuera del tercio medio de la luz libre.

Donde:

R= módulo de rotura, en MPa.

P = máxima carga aplicada, en N.

L = luz libre, en mm.

b = ancho promedio del espécimen en la fractura, en mm.

d = profundidad promedio del espécimen en la fractura, en mm.

a = distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga, en mm. ⁴¹

⁴¹ Norma ASTM-C78, NTE INEN 2554:2011

6.5 NORMA ASTM – C39

La norma ASTM – C39 o conocido en nuestro país como la norma NTE INEN 1573:2010, lleva el nombre de “Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Hormigón”.

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, tales como cilindros moldeados o núcleos obtenidos por extracción. Se encuentra limitado al hormigón que tenga una densidad mayor a 800 kg/m^3 .

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión uniforme a los cilindros moldeados o núcleos de hormigón hasta que ocurra la falla del espécimen. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen.

Los resultados a la compresión obtenidos pueden depender de varios factores como son: forma y el tamaño del espécimen, la pasta del cemento, los procedimientos de mezcla, los métodos de muestreo, fabricación, la edad y las condiciones de humedad durante el curado. Para la realización del ensayo se utiliza la Máquina Universal, la cual debe tener la suficiente capacidad para abastecer las cargas solicitadas según la resistencia diseñada, la aplicación de la carga debe ser constante durante todo el proceso del ensayo para evitar lecturas erróneas de cargas.

Podemos obtener dos tipos de resultados de este ensayo, que lo describimos a continuación:

1. **Resistencia a la compresión.**- Esta se calcula dividiendo la carga máxima de falla obtenida en el ensayo para el área de la sección transversal del cilindro.

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Ecuación 6.3 Resistencia a la Compresión del Hormigón.

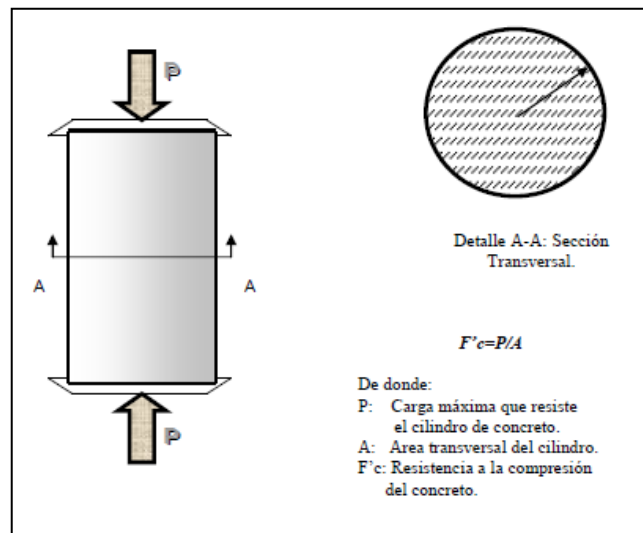
Donde:

f'_c = Resistencia a la compresión del espécimen, en MPa.

P = Máxima carga aplicada, en kN.

A = Área de la carga axial del espécimen, en mm².

FIGURA N° 6.4. Ensayo de Compresión de un Cilindro de Hormigón.

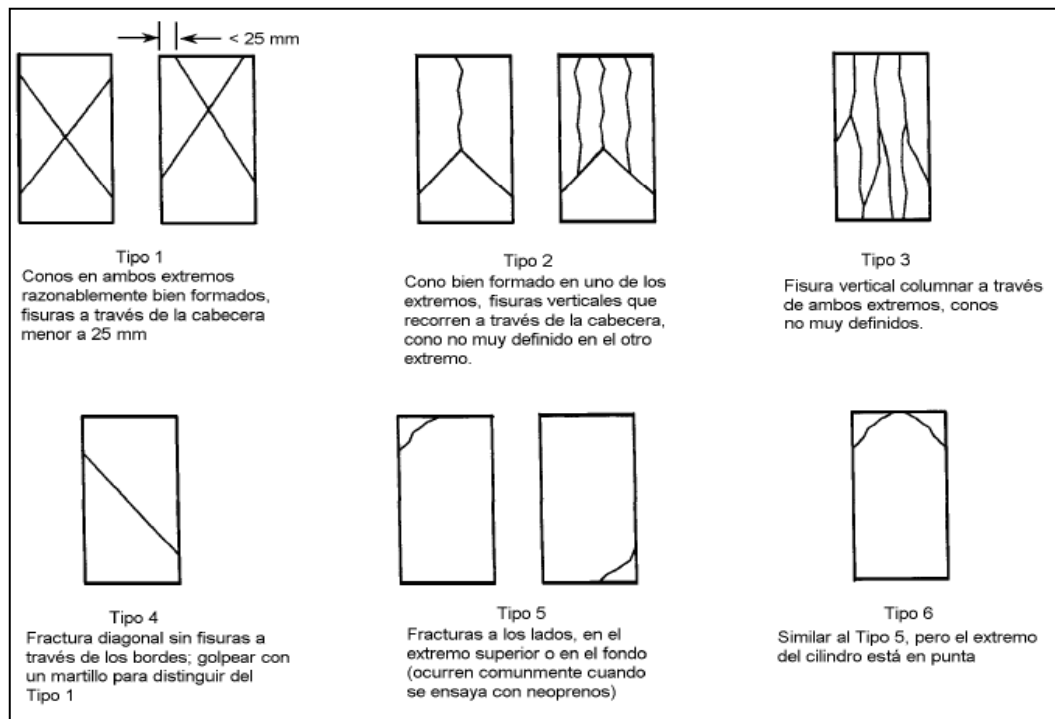


FUENTE: <http://ri.ues.edu.sv/2157/1/.pdf>

2. **Tipo de falla y apariencia del hormigón.-** El cilindro de hormigón es llevado hasta la rotura, en la cual observamos la dirección de las líneas de falla para predecir los tipos de esfuerzos que han actuado en el proceso de carga. Con ello podemos definir ciertos criterios que nos servirán para mejorar la dosificación, como por ejemplo; si en el plano de falla se ve que el ripio no se fractura, podíamos decir que no hubo la suficiente adherencia entre la paste de cemento y el agregado grueso. ⁴²

⁴² Norma ASTM-C39, NTE INEN 1573:2010

FIGURA N° 6.5. Esquema de los modelos típicos de fractura



FUENTE: NORMA NTE INEN 1573:2010 – Pág. 10

6.6 DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL Y TEÓRICA DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN

El módulo de elasticidad, definido por la ecuación $E = \text{esfuerzo} / \text{deformación unitaria}$ es una medida de la rigidez, o sea la resistencia del hormigón a la deformación. Este valor es un parámetro muy importante en el análisis de las estructuras de concreto ya que con ella calculamos la rigidez de los elementos estructurales.

La elasticidad, es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones reversibles por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre ellos.

Como conocemos el hormigón no es un material verdaderamente elástico, pero al estar endurecido por completo y someterlo a cargas en forma moderada hasta llevarlo a la falla o rotura, tiene una curva de esfuerzo de compresión vs deformación, que en esencia es una recta solamente dentro del rango de los esfuerzos usuales de trabajo.

Los materiales totalmente elásticos pueden llegar hasta cierta deformación máxima, es lo que se conoce como límite elástico. Si se sobrepasa este límite, la deformación del material es permanente y sus propiedades cambian. Si el esfuerzo que incide sobre el material supera las fuerzas internas de cohesión, el material se fisura y termina por fallar.⁴³

✓ **Módulo de Elasticidad Experimental Norma (ASTM C – 469)**

“Esta norma se le conoce como “Método de Prueba Estándar para Módulo Estático de Elasticidad y Relación de Poisson del Hormigón en Compresión”

Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a longitudinal para el hormigón endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

Los valores del módulo de elasticidad y relación de Poisson, aplicables dentro del rango de esfuerzos de trabajo (0 a 40% de la resistencia última del concreto), puede ser usada en el dimensionamiento de miembros estructurales reforzados y no reforzados para establecer la cantidad del refuerzo y calcular los esfuerzos para las deformaciones observadas.

Los valores del módulo de elasticidad obtenido serán usualmente menores que el módulo derivado de aplicación de carga rápida (por ejemplo, ratas dinámicas o sísmicas), y usualmente serán mayores que los valores obtenidos bajo aplicación de carga lenta o extendiendo la duración de la carga, manteniendo las otras condiciones de ensayo. “⁴⁴

La norma establece el cálculo del módulo de elasticidad de la siguiente manera:

⁴³ <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/modulo-de-elasticidad-del-hormigon.html>

⁴⁴ <http://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/astm-designacion-c-469-94.html>

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0.00005)}$$

Ecuación 6.4 Módulo de Elasticidad del Hormigón – experimental.

Donde:

E_C = Módulo de elasticidad, psi; (MPa)

S_2 = Esfuerzo a la compresión correspondiente al 40% de la carga última

S_1 = Esfuerzo a la compresión a una deformación específica, $\epsilon_1 = 50/1000000$, psi, y

ϵ_2 = Deformación específica producida por el esfuerzo a la compresión S_2

Cálculo Experimental del Módulo de Elasticidad del Hormigón:

En nuestra investigación, para la determinación del módulo de elasticidad en forma experimental, lo realizamos según el código establecido, mediante los ensayos a compresión de varios cilindros de hormigón.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

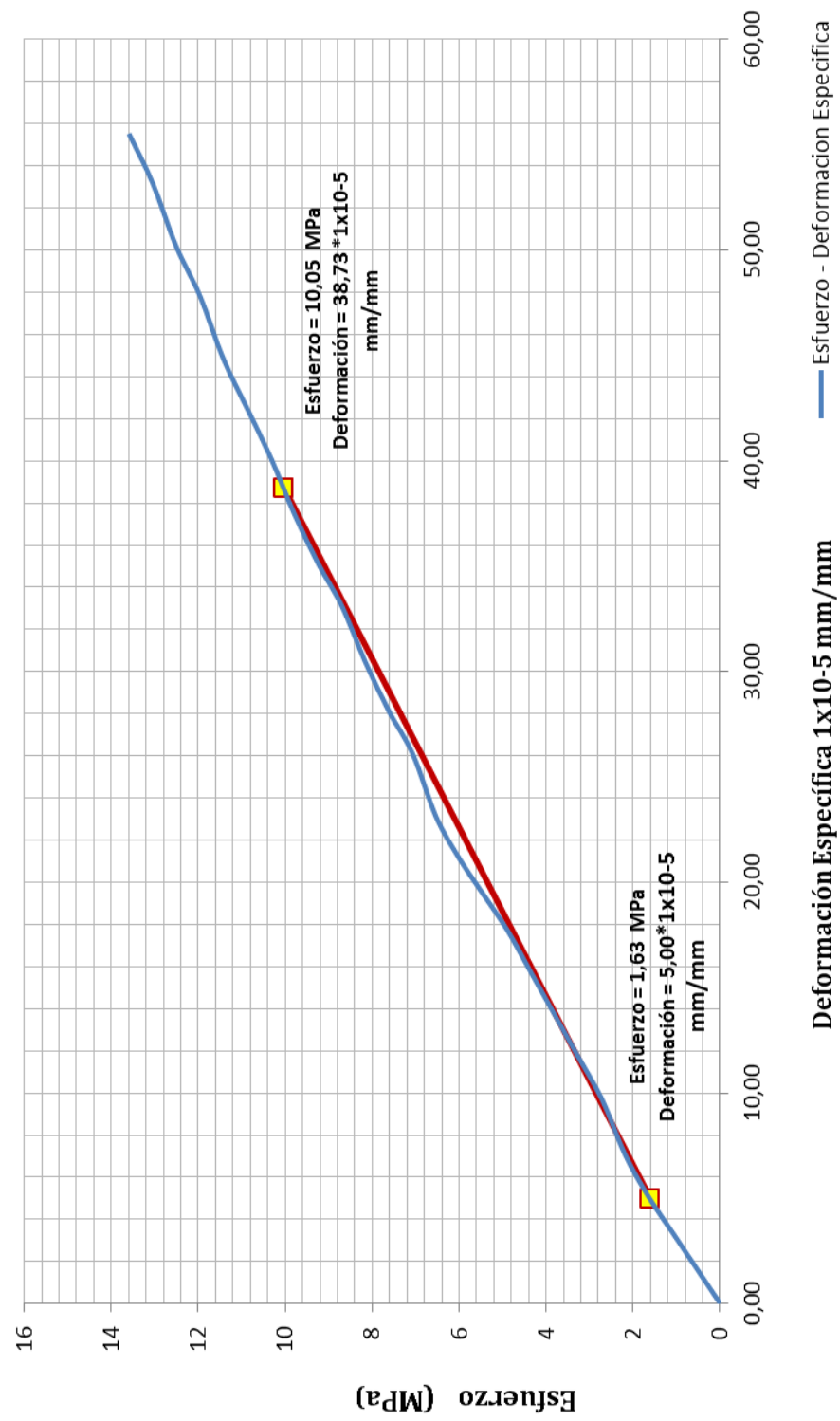
CILINDRO N°	1 - 12	Edad =	28 días
Fecha de Muestreo:	10/09/2013	Área (mm ²) =	18385,39
Fecha del Ensayo:	08/10/2013	Carga a la Rotura (Kg) =	46188,8
Lo (mm) =	150	Resistencia Máx. (MPa) =	25,12
Diámetro (mm) =	153	40% σ (MPa) =	10,05
L (mm) =	299	Apreciación Deformímetro =	0,001

N°	CARGA		DEFOR.	ESFUERZO	DEFOR. ESPECIFICA
	Kg	N x 10 ³	1x10 ⁻³ mm	MPa	1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	5	0,54	1,67
3	2000	20	10	1,09	3,34
4	3000	30	15	1,63	5,02
5	4000	40	21	2,18	7,02
6	5000	50	29	2,72	9,70
7	6000	60	35	3,26	11,71
8	7000	70	41	3,81	13,71
9	8000	80	47	4,35	15,72
10	9000	90	53	4,90	17,73
11	10000	100	58	5,44	19,40
12	11000	110	63	5,98	21,07
13	12000	120	69	6,53	23,08
14	13000	130	78	7,07	26,09
15	14000	140	84	7,61	28,09
16	15000	150	91	8,16	30,43
17	16000	160	99	8,70	33,11
18	17000	170	105	9,25	35,12
19	18000	180	112	9,79	37,46
20	19000	190	120	10,33	40,13
21	20000	200	127	10,88	42,47
22	21000	210	134	11,42	44,82
23	22000	220	143	11,97	47,83
24	23000	230	150	12,51	50,17
25	24000	240	159	13,05	53,18
26	25000	250	166	13,60	55,52
27	46188,80	461,89	-	25,12	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,63	5,00
2	10,05	38,73
E =	24970,68	MPa

DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 1





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

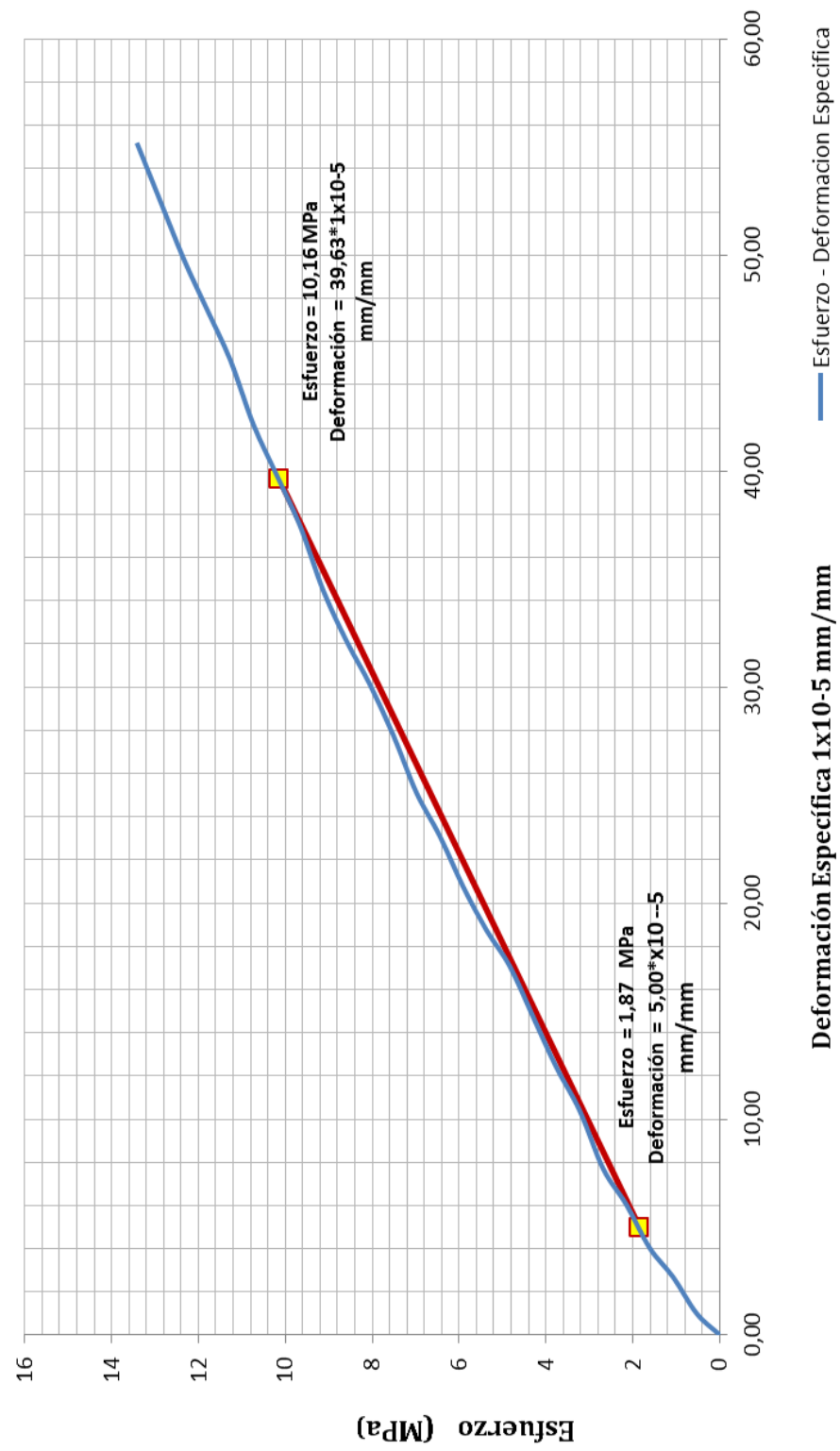
CILINDRO N° 2 - 12 Edad = 28 días
Fecha de Muestreo: 10/09/2013 Área (mm²) = 18626,50
Fecha del Ensayo: 08/10/2013 Carga a la Rotura (Kg) = 47316,1
Lo (mm) = 150 Resistencia Máx. (MPa) = 25,40
Diámetro (mm) = 154 40% σ (MPa) = 10,16
L (mm) = 299 Apreciación Deformímetro = 0,001

N°	CARGA		DEFOR. 1x10 ⁻³ mm	ESFUERZO MPa	DEFOR. ESPECIFICA 1x10 ⁻⁵ mm/mm
	Kg	N x 10 ³			
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	3	0,54	1,00
3	2000	20	8	1,07	2,68
4	3000	30	12	1,61	4,01
5	4000	40	18	2,15	6,02
6	5000	50	23	2,68	7,69
7	6000	60	31	3,22	10,37
8	7000	70	37	3,76	12,37
9	8000	80	44	4,29	14,72
10	9000	90	51	4,83	17,06
11	10000	100	56	5,37	18,73
12	11000	110	62	5,91	20,74
13	12000	120	69	6,44	23,08
14	13000	130	75	6,98	25,08
15	14000	140	83	7,52	27,76
16	15000	150	90	8,05	30,10
17	16000	160	96	8,59	32,11
18	17000	170	103	9,13	34,45
19	18000	180	112	9,66	37,46
20	19000	190	119	10,20	39,80
21	20000	200	126	10,74	42,14
22	21000	210	135	11,27	45,15
23	22000	220	142	11,81	47,49
24	23000	230	149	12,35	49,83
25	24000	240	157	12,88	52,51
26	25000	250	165	13,42	55,18
27	47316,10	473,16	-	25,40	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,87	5,00
2	10,16	39,63
E =	23930,55	MPa

DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 2





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

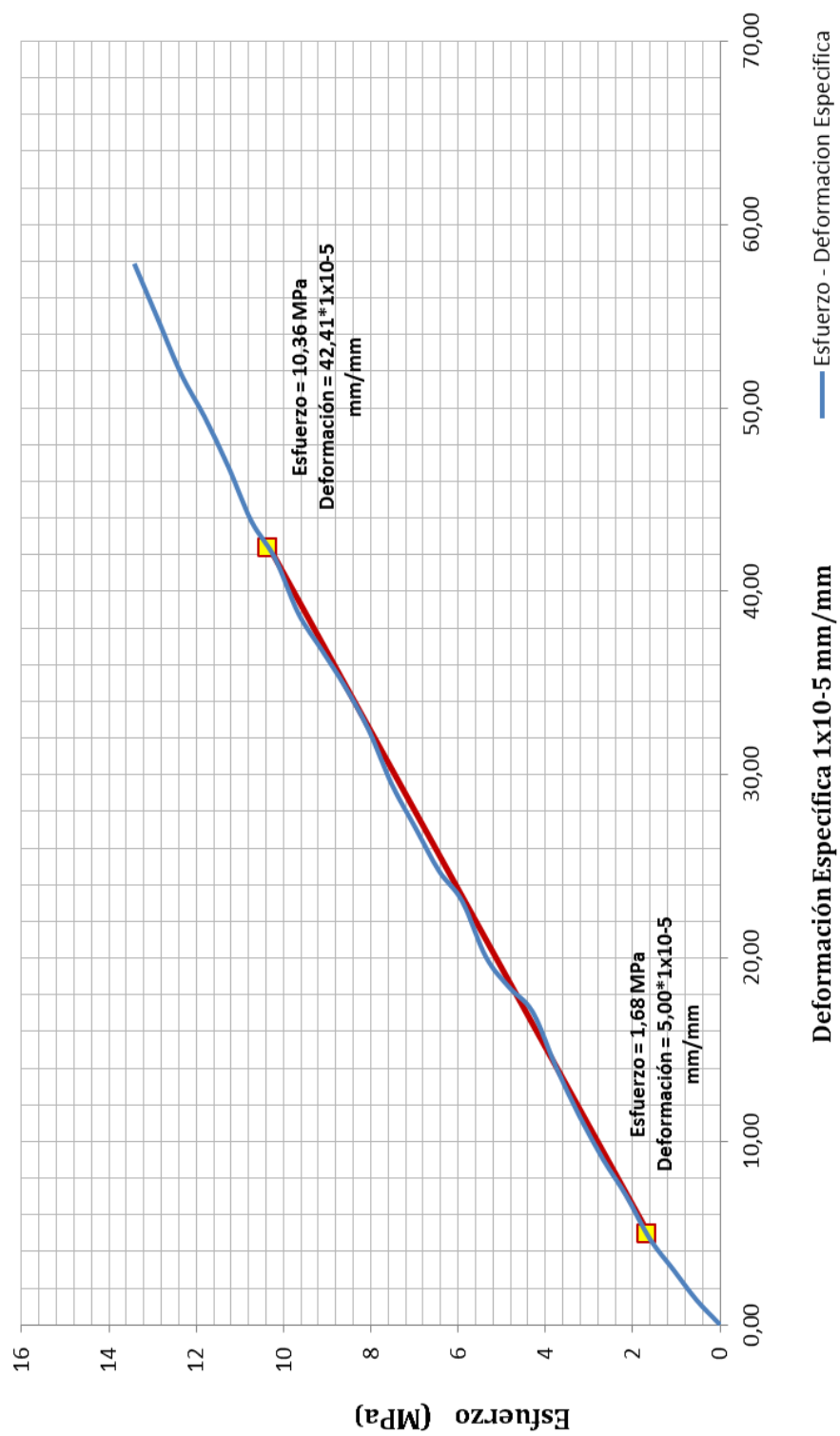
CILINDRO N°	3-12	Edad =	28 dias
Fecha de Muestreo:	10/09/2013	Área (mm ²) =	18626,50
Fecha del Ensayo:	08/10/2013	Carga a la Rotura (Kg) =	48252,4
Lo (mm) =	150	Resistencia Máx. (MPa) =	25,91
Diámetro (mm) =	154	40% σ (MPa) =	10,36
L (mm) =	299	Apreciación Deformímetro =	0,001

N°	CARGA		DEFOR. 1x10 ⁻³ mm	ESFUERZO MPa	DEFOR. ESPECIFICA 1x10 ⁻⁵ mm/mm
	Kg	N x 10 ³			
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	4	0,54	1,34
3	2000	20	9	1,07	3,01
4	3000	30	14	1,61	4,68
5	4000	40	21	2,15	7,02
6	5000	50	27	2,68	9,03
7	6000	60	34	3,22	11,37
8	7000	70	42	3,76	14,05
9	8000	80	51	4,29	17,06
10	9000	90	55	4,83	18,39
11	10000	100	60	5,37	20,07
12	11000	110	69	5,91	23,08
13	12000	120	74	6,44	24,75
14	13000	130	81	6,98	27,09
15	14000	140	88	7,52	29,43
16	15000	150	97	8,05	32,44
17	16000	160	104	8,59	34,78
18	17000	170	110	9,13	36,79
19	18000	180	116	9,66	38,80
20	19000	190	125	10,20	41,81
21	20000	200	131	10,74	43,81
22	21000	210	140	11,27	46,82
23	22000	220	148	11,81	49,50
24	23000	230	155	12,35	51,84
25	24000	240	164	12,88	54,85
26	25000	250	173	13,42	57,86
27	48252,4	482,52	-	25,91	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,68	5,00
2	10,36	42,41
E =	23198,71	MPa

**DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 3**





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

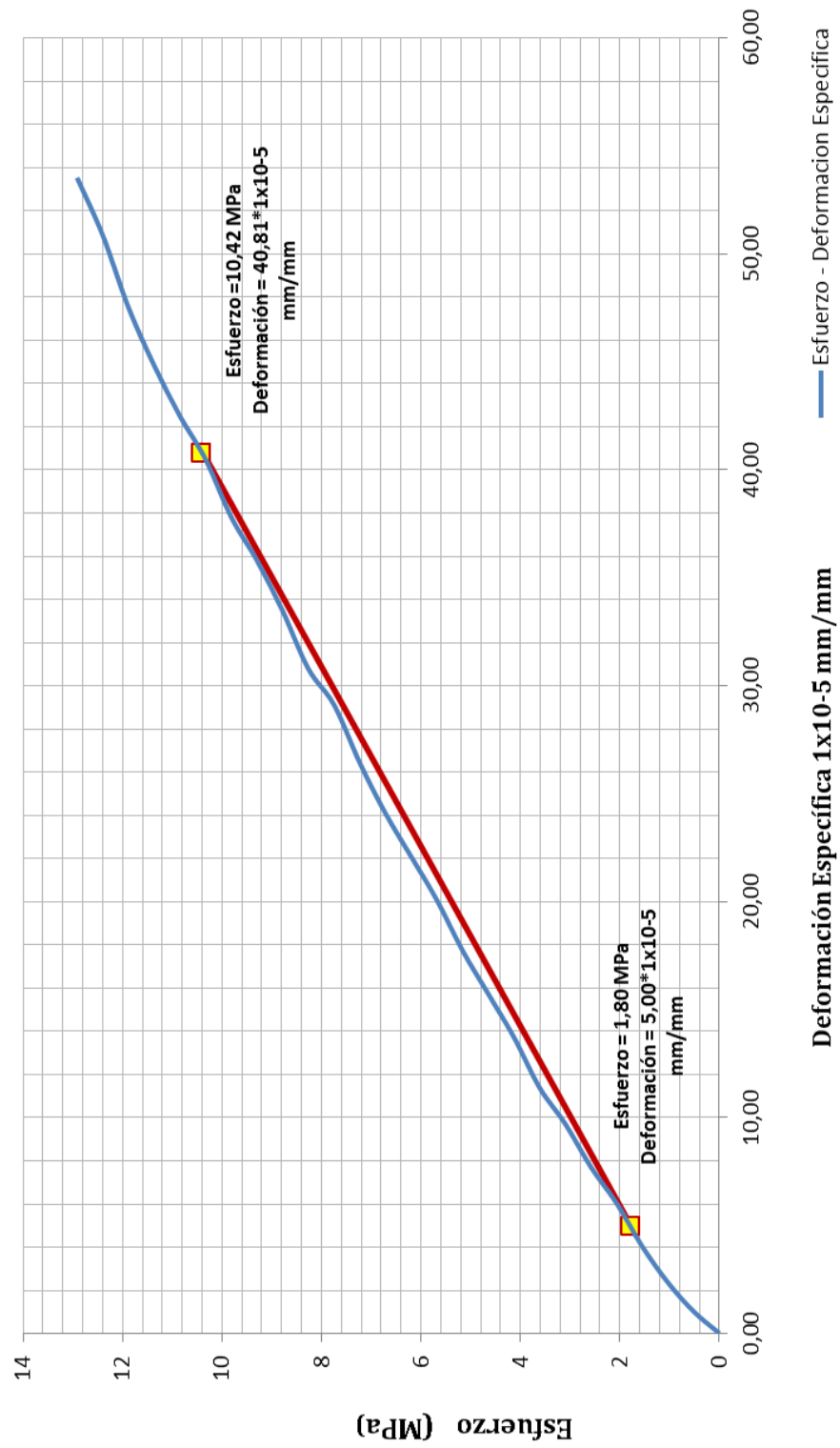
CILINDRO N°	4-12	Edad =	28 días
Fecha de Muestreo:	10/09/2013	Área (mm ²) =	19359,28
Fecha del Ensayo:	08/10/2013	Carga a la Rotura (Kg) =	50421,2
Lo (mm) =	150	Resistencia Máx. (MPa) =	26,04
Diámetro (mm) =	157	40% σ (MPa) =	10,42
L (mm) =	299	Apreciación Deformímetro =	0,001

N°	CARGA		DEFOR.	ESFUERZO	DEFOR. ESPECIFICA
	Kg	N x 10 ³	1x10 ⁻³ mm	MPa	1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	3	0,52	1,00
3	2000	20	7	1,03	2,34
4	3000	30	12	1,55	4,01
5	4000	40	18	2,07	6,02
6	5000	50	23	2,58	7,69
7	6000	60	29	3,10	9,70
8	7000	70	34	3,62	11,37
9	8000	80	41	4,13	13,71
10	9000	90	47	4,65	15,72
11	10000	100	53	5,17	17,73
12	11000	110	60	5,68	20,07
13	12000	120	66	6,20	22,07
14	13000	130	72	6,72	24,08
15	14000	140	79	7,23	26,42
16	15000	150	87	7,75	29,10
17	16000	160	92	8,26	30,77
18	17000	170	100	8,78	33,44
19	18000	180	107	9,30	35,79
20	19000	190	113	9,81	37,79
21	20000	200	121	10,33	40,47
22	21000	210	127	10,85	42,47
23	22000	220	134	11,36	44,82
24	23000	230	142	11,88	47,49
25	24000	240	152	12,40	50,84
26	25000	250	160	12,91	53,51
27	50421,2	504,21	-	26,04	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,80	5,00
2	10,42	40,81
E=	24058,26	MPa

DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 4





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

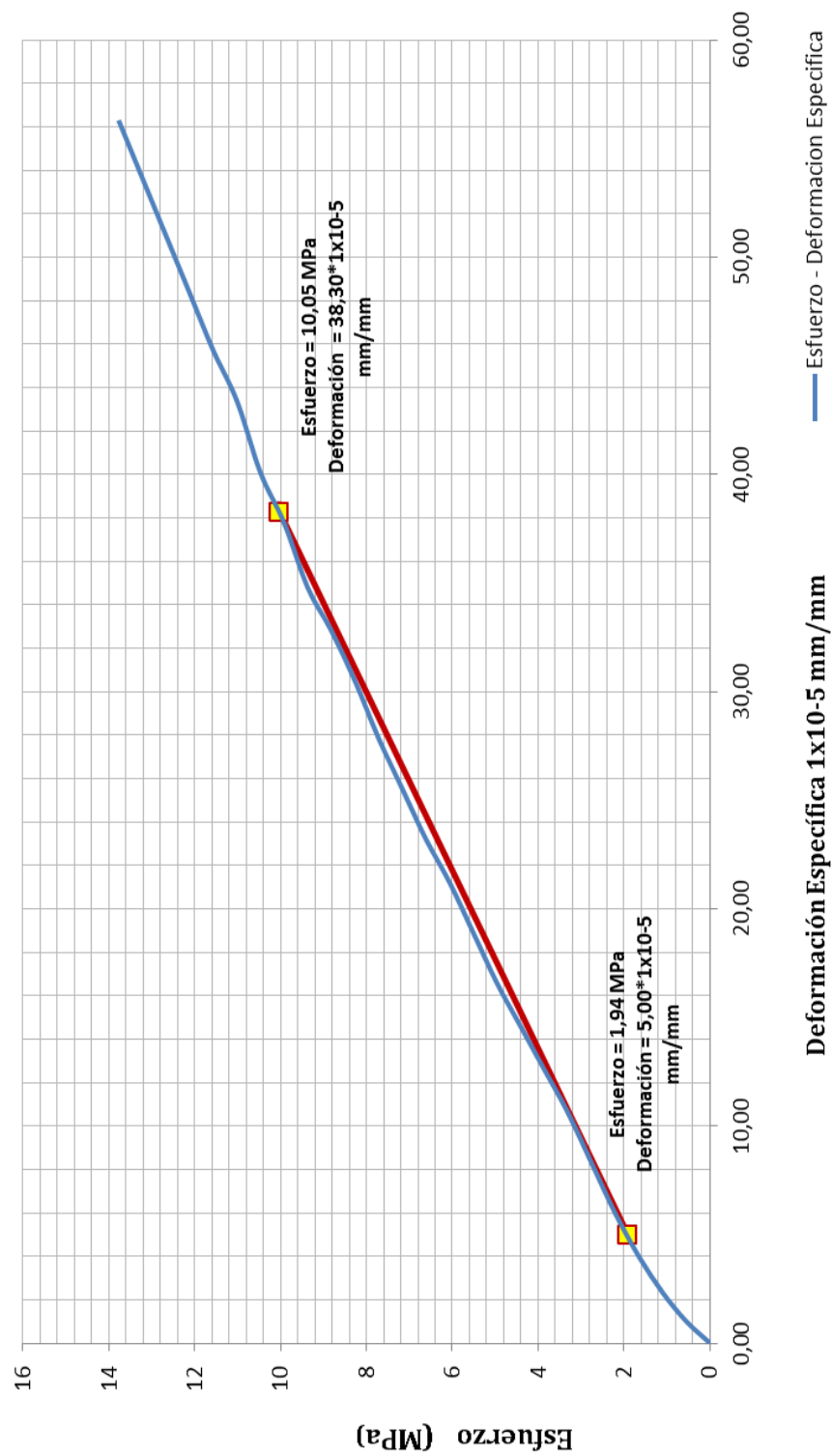
CILINDRO N°	5-12	Edad =	28 días
Fecha de Muestreo:	10/09/2013	Área (mm ²) =	18145,84
Fecha del Ensayo:	08/10/2013	Carga a la Rotura (Kg) =	45590,6
Lo (mm) =	150	Resistencia Máx. (MPa) =	25,12
Diámetro (mm) =	152	40% σ (MPa) =	10,05
L (mm) =	302	Apreciación Deformímetro =	0,001

N°	CARGA		DEFOR.	ESFUERZO	DEFOR. ESPECIFICA
	Kg	N x 10 ³	1x10 ⁻³ mm	MPa	1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	3	0,55	0,99
3	2000	20	7	1,10	2,32
4	3000	30	12	1,65	3,97
5	4000	40	18	2,20	5,96
6	5000	50	25	2,76	8,28
7	6000	60	32	3,31	10,60
8	7000	70	38	3,86	12,58
9	8000	80	44	4,41	14,57
10	9000	90	50	4,96	16,56
11	10000	100	57	5,51	18,87
12	11000	110	64	6,06	21,19
13	12000	120	70	6,61	23,18
14	13000	130	77	7,16	25,50
15	14000	140	84	7,72	27,81
16	15000	150	92	8,27	30,46
17	16000	160	99	8,82	32,78
18	17000	170	105	9,37	34,77
19	18000	180	114	9,92	37,75
20	19000	190	121	10,47	40,07
21	20000	200	131	11,02	43,38
22	21000	210	138	11,57	45,70
23	22000	220	146	12,12	48,34
24	23000	230	154	12,68	50,99
25	24000	240	162	13,23	53,64
26	25000	250	170	13,78	56,29
27	45590,60	455,91	-	25,12	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,94	5,00
2	10,05	38,30
E =	24362,80	MPa

DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 5





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

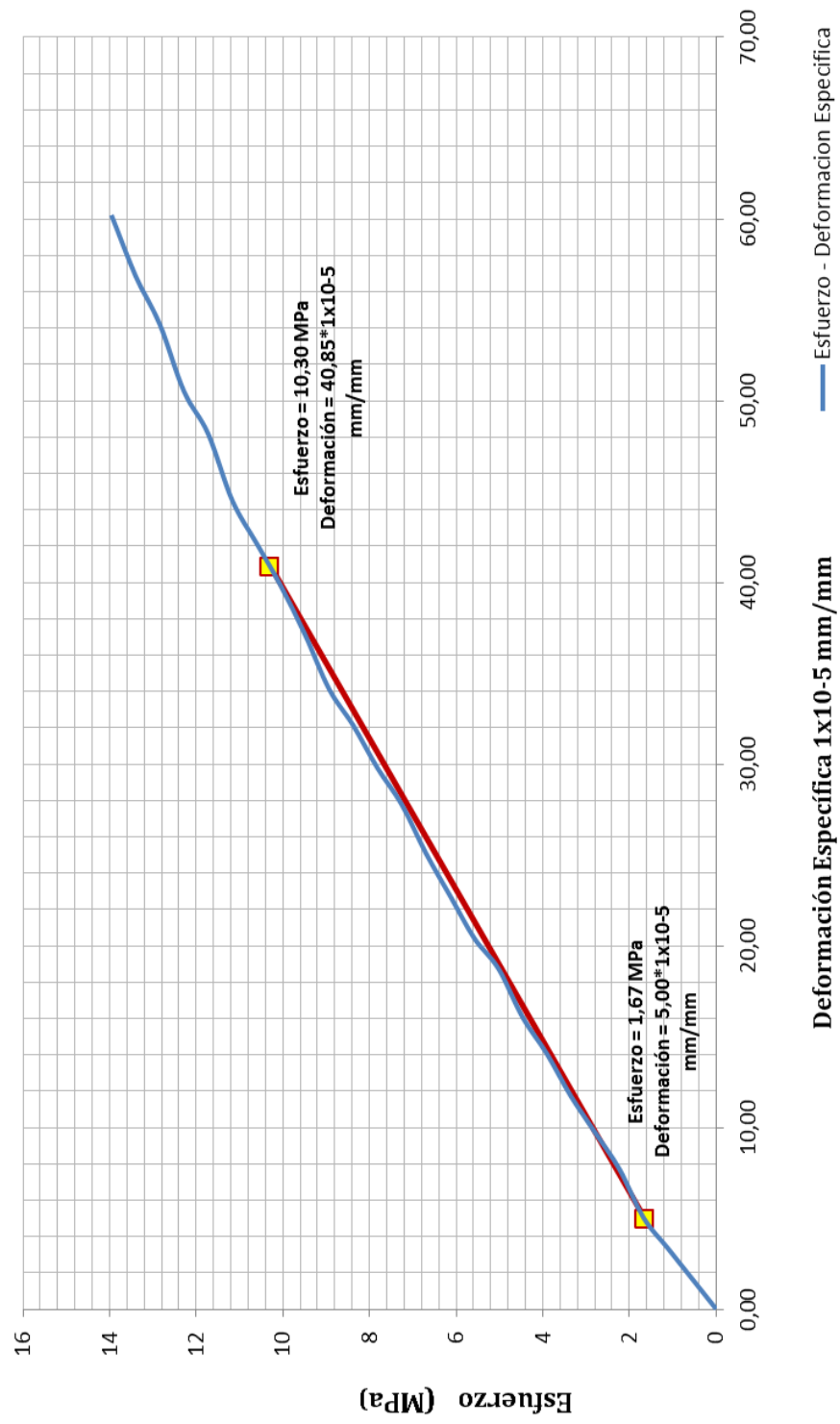
CILINDRO N°	6-12	Edad =	28 días
Fecha de Muestreo:	10/09/2013	Área (mm ²) =	17907,86
Fecha del Ensayo:	08/10/2013	Carga a la Rotura (Kg) =	46125,8
Lo (mm) =	150	Resistencia Máx. (MPa) =	25,76
Diámetro (mm) =	151	40% σ (MPa) =	10,30
L (mm) =	299	Apreciación Deformímetro =	0,001

N°	CARGA		DEFOR.	ESFUERZO	DEFOR. ESPECIFICA
	Kg	N x 10 ³	1x10 ⁻³ mm	MPa	1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	5	0,56	1,67
3	2000	20	10	1,12	3,34
4	3000	30	15	1,68	5,02
5	4000	40	23	2,23	7,69
6	5000	50	29	2,79	9,70
7	6000	60	35	3,35	11,71
8	7000	70	42	3,91	14,05
9	8000	80	48	4,47	16,05
10	9000	90	56	5,03	18,73
11	10000	100	61	5,58	20,40
12	11000	110	68	6,14	22,74
13	12000	120	75	6,70	25,08
14	13000	130	83	7,26	27,76
15	14000	140	89	7,82	29,77
16	15000	150	96	8,38	32,11
17	16000	160	102	8,93	34,11
18	17000	170	111	9,49	37,12
19	18000	180	119	10,05	39,80
20	19000	190	126	10,61	42,14
21	20000	200	133	11,17	44,48
22	21000	210	144	11,73	48,16
23	22000	220	151	12,29	50,50
24	23000	230	162	12,84	54,18
25	24000	240	170	13,40	56,86
26	25000	250	180	13,96	60,20
27	46125,8	461,26	-	25,76	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,67	5,00
2	10,30	40,85
E =	24079,20	MPa

DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 6





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

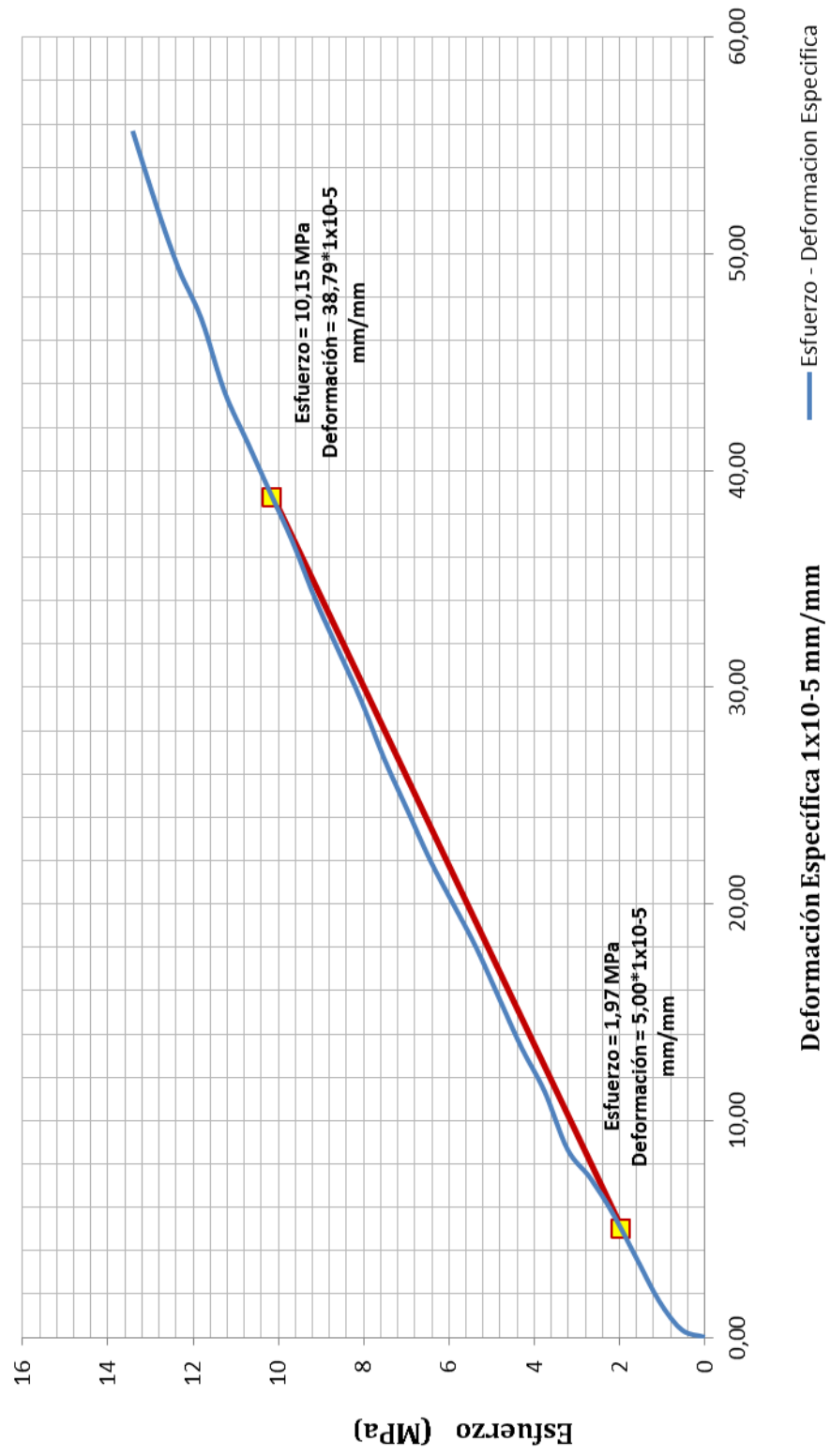
CILINDRO N°	7-12	Edad =	28 días
Fecha de Muestreo:	10/09/2013	Área (mm ²) =	18626,50
Fecha del Ensayo:	08/10/2013	Carga a la Rotura (Kg) =	47280,2
Lo (mm) =	150	Resistencia Máx. (MPa) =	25,38
Diámetro (mm) =	154	40% σ (MPa) =	10,15
L (mm) =	300	Apreciación Deformímetro =	0,001

N°	CARGA		DEFOR.	ESFUERZO	DEFOR. ESPECIFICA
	Kg	N x 10 ³	1x10 ⁻³ mm	MPa	1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	1	0,54	0,33
3	2000	20	5	1,07	1,67
4	3000	30	11	1,61	3,67
5	4000	40	17	2,15	5,67
6	5000	50	22	2,68	7,33
7	6000	60	26	3,22	8,67
8	7000	70	34	3,76	11,33
9	8000	80	40	4,29	13,33
10	9000	90	47	4,83	15,67
11	10000	100	54	5,37	18,00
12	11000	110	60	5,91	20,00
13	12000	120	66	6,44	22,00
14	13000	130	73	6,98	24,33
15	14000	140	80	7,52	26,67
16	15000	150	88	8,05	29,33
17	16000	160	95	8,59	31,67
18	17000	170	102	9,13	34,00
19	18000	180	110	9,66	36,67
20	19000	190	117	10,20	39,00
21	20000	200	124	10,74	41,33
22	21000	210	131	11,27	43,67
23	22000	220	141	11,81	47,00
24	23000	230	148	12,35	49,33
25	24000	240	157	12,88	52,33
26	25000	250	167	13,42	55,67
27	47280,2	472,802	-	25,38	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10-5 mm/mm
1	1,97	5,00
2	10,15	38,79
E=	24219,06	MPa

**DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 7**





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

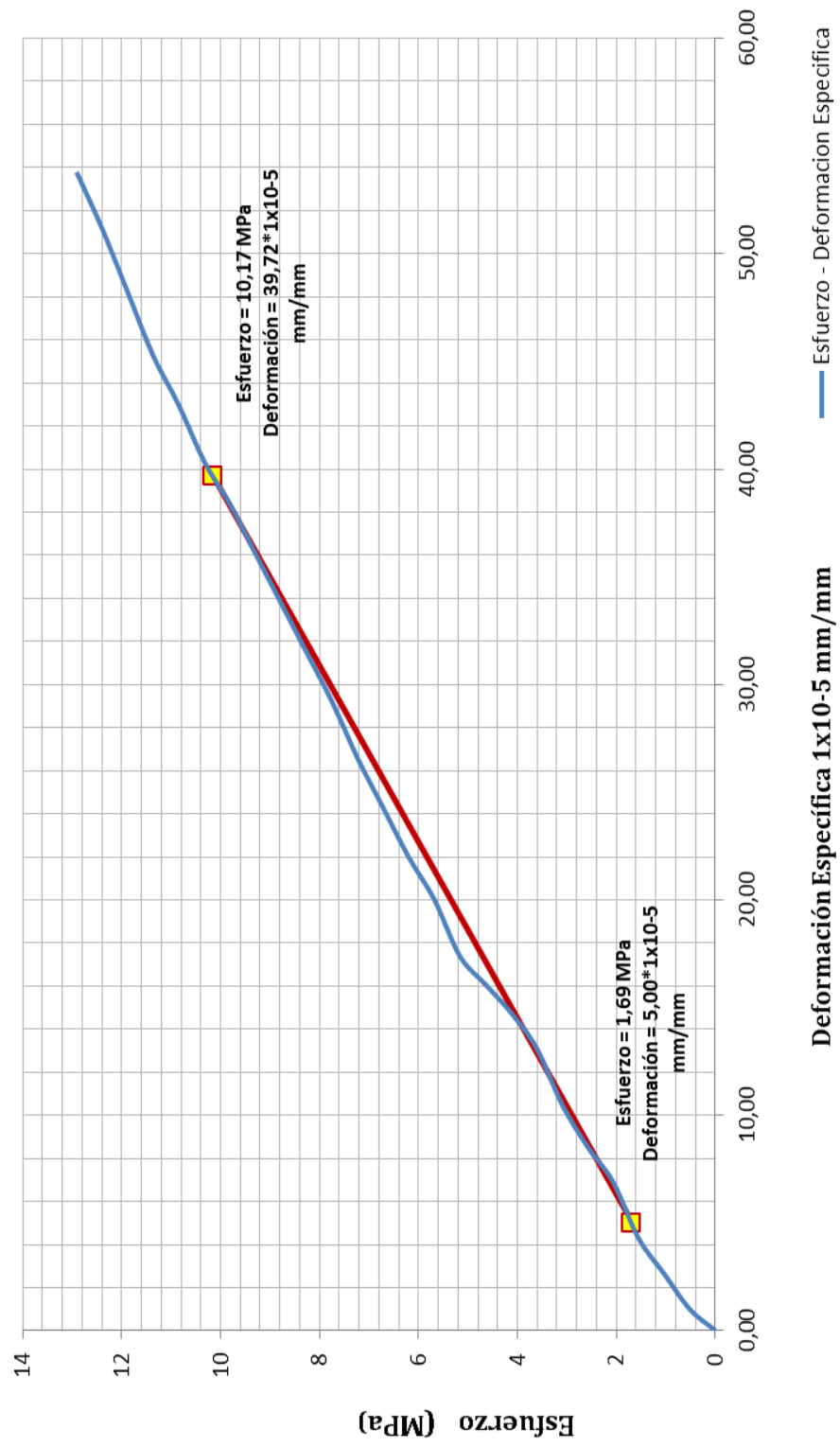
CILINDRO N°	8-12	Edad =	28 días
Fecha de Muestreo:	10/09/2013	Área (mm ²) =	19359,28
Fecha del Ensayo:	08/10/2013	Carga a la Rotura (Kg) =	49228,1
Lo (mm) =	150	Resistencia Máx. (MPa) =	25,43
Diámetro (mm) =	157	40% σ (MPa) =	10,17
L (mm) =	305	Apreciación Deformímetro =	0,001

N°	CARGA		DEFOR.	ESFUERZO	DEFOR. ESPECIFICA
	Kg	N x 10 ³	1x10 ⁻³ mm	MPa	1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	3	0,52	0,98
3	2000	20	8	1,03	2,62
4	3000	30	13	1,55	4,26
5	4000	40	21	2,07	6,89
6	5000	50	26	2,58	8,52
7	6000	60	32	3,10	10,49
8	7000	70	40	3,62	13,11
9	8000	80	45	4,13	14,75
10	9000	90	49	4,65	16,07
11	10000	100	53	5,17	17,38
12	11000	110	61	5,68	20,00
13	12000	120	67	6,20	21,97
14	13000	130	74	6,72	24,26
15	14000	140	81	7,23	26,56
16	15000	150	89	7,75	29,18
17	16000	160	96	8,26	31,48
18	17000	170	103	8,78	33,77
19	18000	180	110	9,30	36,07
20	19000	190	117	9,81	38,36
21	20000	200	123	10,33	40,33
22	21000	210	131	10,85	42,95
23	22000	220	138	11,36	45,25
24	23000	230	147	11,88	48,20
25	24000	240	156	12,40	51,15
26	25000	250	164	12,91	53,77
27	49228,1	492,28	-	25,43	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,69	5,00
2	10,17	39,72
E =	24413,69	MPa

**DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 8**





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

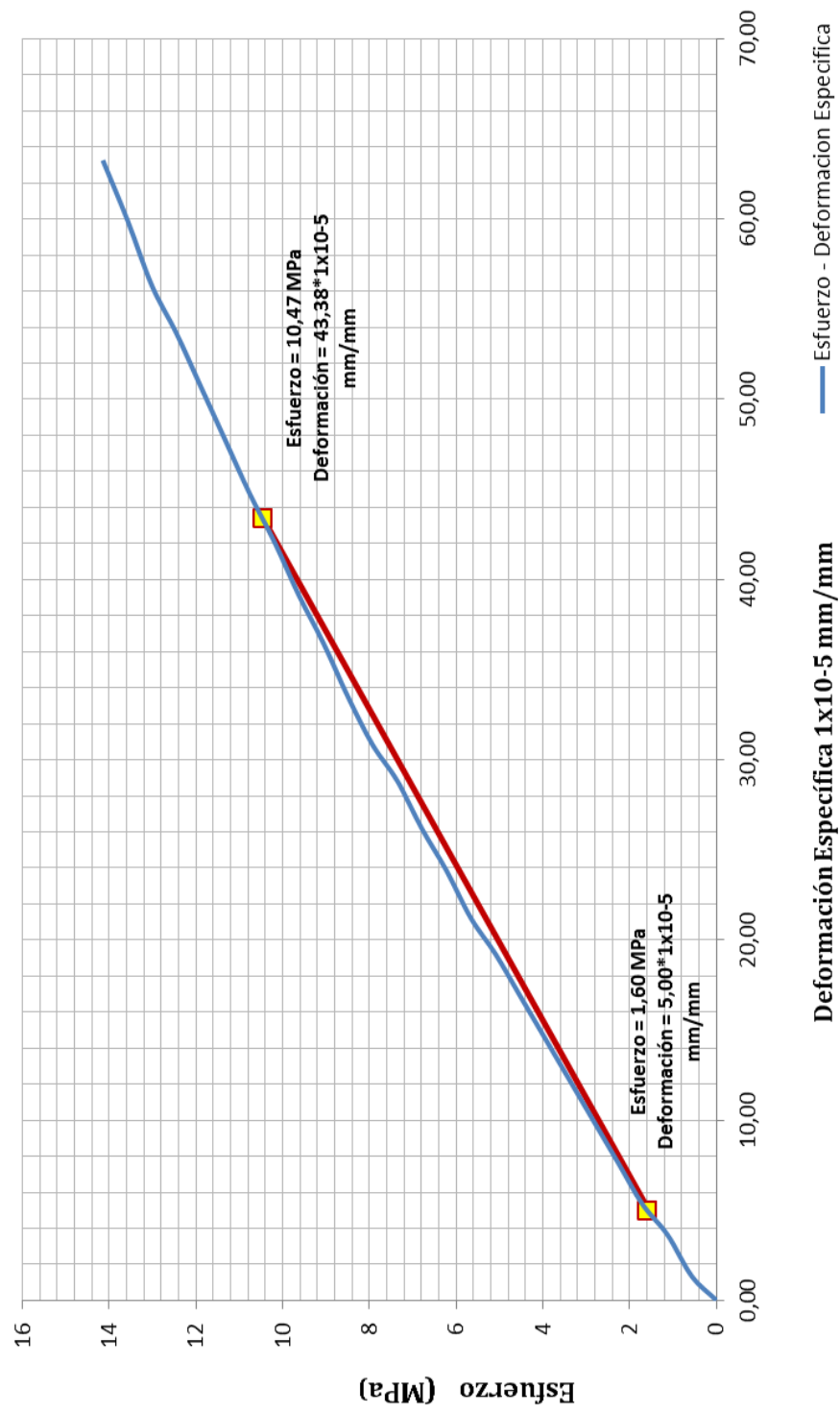
CILINDRO N° 9-12 Edad = 28 días
 Fecha de Muestreo: 10/09/2013 Área (mm²) = 17671,46
 Fecha del Ensayo: 08/10/2013 Carga a la Rotura (Kg) = 46251,7
 Lo (mm) = 150 Resistencia Máx. (MPa) = 26,17
 Diámetro (mm) = 150 40% σ (MPa) = 10,47
 L (mm) = 302 Apreciación Deformímetro = 0,001

N°	CARGA		DEFOR. 1x10 ⁻³ mm	ESFUERZO MPa	DEFOR. ESPECIFICA 1x10 ⁻⁵ mm/mm
	Kg	N x 10 ³			
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	4	0,57	1,32
3	2000	20	11	1,13	3,64
4	3000	30	16	1,70	5,30
5	4000	40	23	2,26	7,62
6	5000	50	30	2,83	9,93
7	6000	60	37	3,40	12,25
8	7000	70	44	3,96	14,57
9	8000	80	51	4,53	16,89
10	9000	90	58	5,09	19,21
11	10000	100	64	5,66	21,19
12	11000	110	72	6,22	23,84
13	12000	120	79	6,79	26,16
14	13000	130	87	7,36	28,81
15	14000	140	93	7,92	30,79
16	15000	150	101	8,49	33,44
17	16000	160	110	9,05	36,42
18	17000	170	118	9,62	39,07
19	18000	180	127	10,19	42,05
20	19000	190	135	10,75	44,70
21	20000	200	144	11,32	47,68
22	21000	210	153	11,88	50,66
23	22000	220	162	12,45	53,64
24	23000	230	170	13,02	56,29
25	24000	240	181	13,58	59,93
26	25000	250	191	14,15	63,25
27	46251,7	462,517	-	26,17	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,60	5,00
2	10,47	43,38
E =	23120,41	MPa

DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 9





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

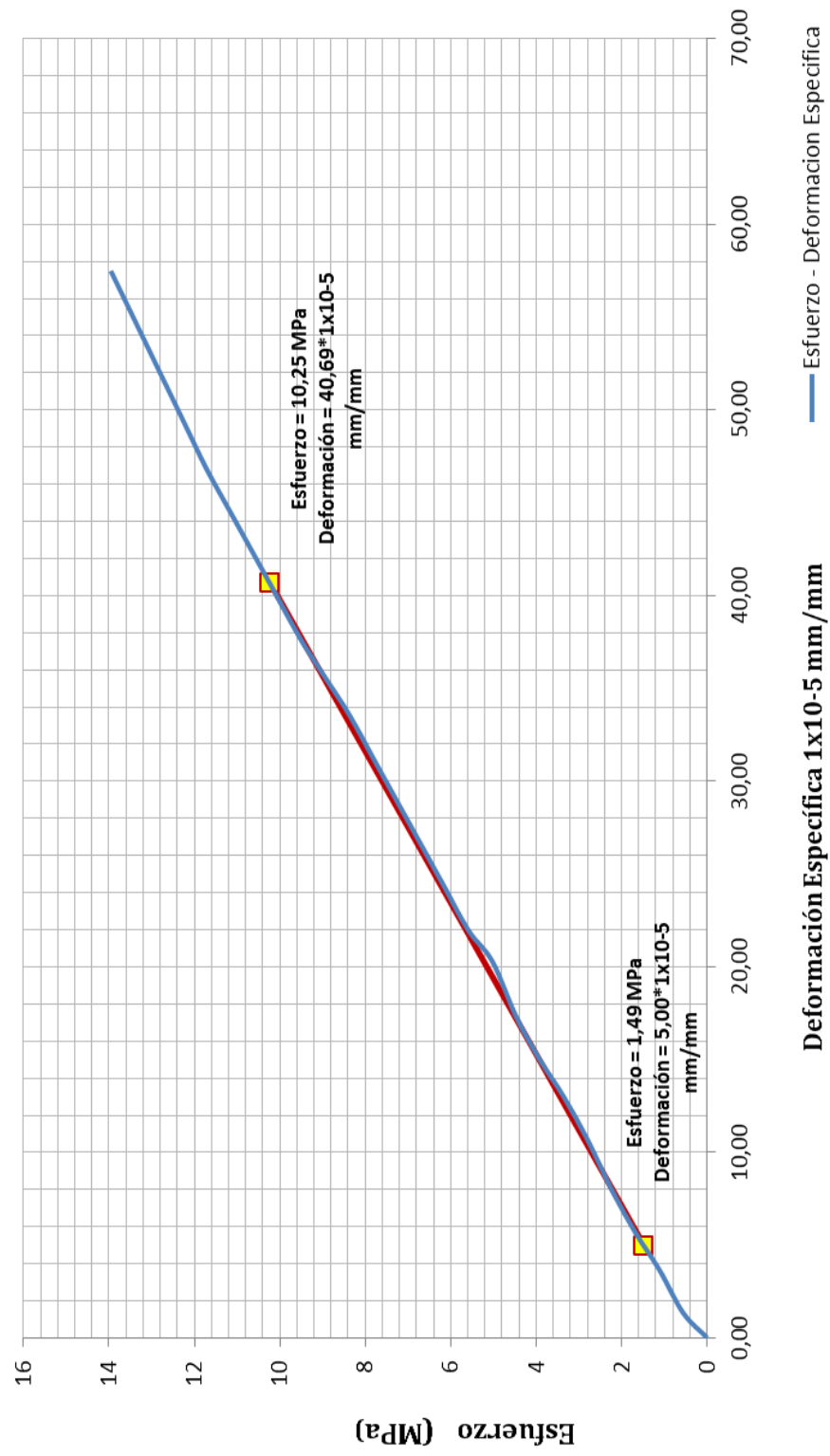
CILINDRO N°	10-12	Edad =	28 días
Fecha de Muestreo:	10/09/2013	Área (mm ²) =	17907,86
Fecha del Ensayo:	08/10/2013	Carga a la Rotura (Kg) =	45885,9
Lo (mm) =	150	Resistencia Máx. (MPa) =	25,62
Diámetro (mm) =	151	40% σ (MPa) =	10,25
L (mm) =	301	Apreciación Deformímetro =	0,001

N°	CARGA		DEFOR.	ESFUERZO	DEFOR. ESPECIFICA
	Kg	N x 10 ³	1x10 ⁻³ mm	MPa	1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	4	0,56	1,33
3	2000	20	11	1,12	3,65
4	3000	30	17	1,68	5,65
5	4000	40	24	2,23	7,97
6	5000	50	32	2,79	10,63
7	6000	60	39	3,35	12,96
8	7000	70	45	3,91	14,95
9	8000	80	52	4,47	17,28
10	9000	90	61	5,03	20,27
11	10000	100	66	5,58	21,93
12	11000	110	73	6,14	24,25
13	12000	120	80	6,70	26,58
14	13000	130	87	7,26	28,90
15	14000	140	94	7,82	31,23
16	15000	150	101	8,38	33,55
17	16000	160	107	8,93	35,55
18	17000	170	113	9,49	37,54
19	18000	180	120	10,05	39,87
20	19000	190	127	10,61	42,19
21	20000	200	134	11,17	44,52
22	21000	210	141	11,73	46,84
23	22000	220	149	12,29	49,50
24	23000	230	157	12,84	52,16
25	24000	240	165	13,40	54,82
26	25000	250	173	13,96	57,48
27	45885,9	458,859	-	25,62	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,49	5,00
2	10,25	40,69
E =	24531,46	MPa

DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 10





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

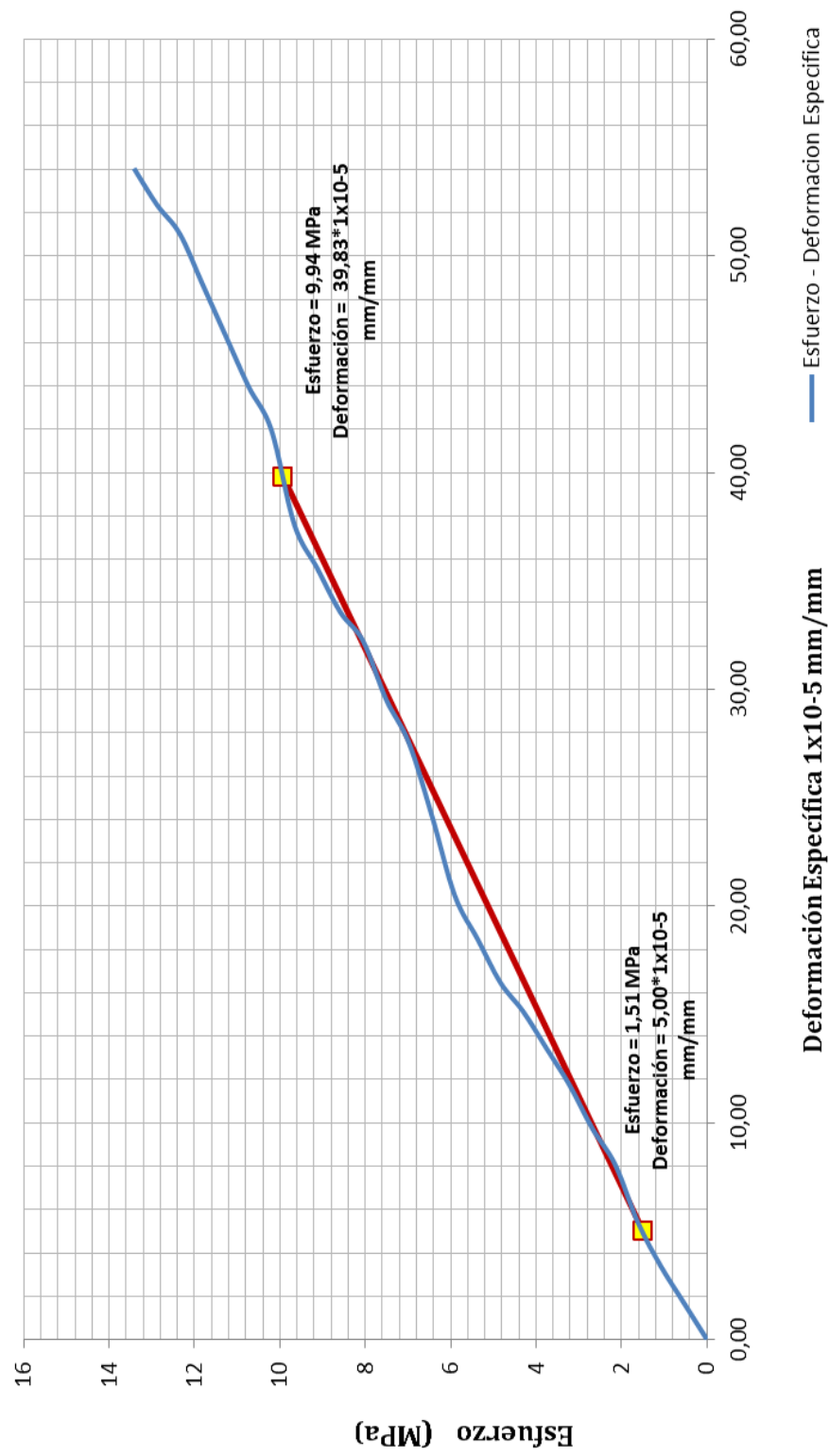
CILINDRO N°	11 - 12	Edad =	28 días
Fecha de Muestreo:	10/09/2013	Área (mm ²) =	18626,50
Fecha del Ensayo:	08/10/2013	Carga a la Rotura (Kg) =	46289,2
Lo (mm) =	150	Resistencia Máx. (MPa) =	24,85
Diámetro (mm) =	154	40% σ (MPa) =	9,94
L (mm) =	298	Apreciación Deformímetro =	0,001

N°	CARGA		DEFOR.	ESFUERZO	DEFOR. ESPECIFICA
	Kg	N x 10 ³	1x10 ⁻³ mm	MPa	1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	5	0,54	1,68
3	2000	20	10	1,07	3,36
4	3000	30	16	1,61	5,37
5	4000	40	24	2,15	8,05
6	5000	50	29	2,68	9,73
7	6000	60	35	3,22	11,74
8	7000	70	40	3,76	13,42
9	8000	80	45	4,29	15,10
10	9000	90	49	4,83	16,44
11	10000	100	55	5,37	18,46
12	11000	110	61	5,91	20,47
13	12000	120	72	6,44	24,16
14	13000	130	82	6,98	27,52
15	14000	140	88	7,52	29,53
16	15000	150	96	8,05	32,21
17	16000	160	100	8,59	33,56
18	17000	170	106	9,13	35,57
19	18000	180	112	9,66	37,58
20	19000	190	125	10,20	41,95
21	20000	200	131	10,74	43,96
22	21000	210	138	11,27	46,31
23	22000	220	145	11,81	48,66
24	23000	230	152	12,35	51,01
25	24000	240	156	12,88	52,35
26	25000	250	161	13,42	54,03
27	46289,2	462,892	-	24,85	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,51	5,00
2	9,94	39,83
E =	24196,02	MPa

DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 11





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO PARA DETERMINAR EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN

NORMA ASTM C - 469:94

CILINDRO N° 12 -12 Edad = 28 días
 Fecha de Muestreo: 10/09/2013 Área (mm²) = 19113,45
 Fecha del Ensayo: 08/10/2013 Carga a la Rotura (Kg) = 49437,3
 Lo (mm) = 150 Resistencia Máx. (MPa) = 25,87
 Diámetro (mm) = 156 40% σ (MPa) = 10,35
 L (mm) = 303 Apreciación Deformímetro = 0,001

N°	CARGA		DEFOR. 1x10 ⁻³ mm	ESFUERZO MPa	DEFOR. ESPECIFICA 1x10 ⁻⁵ mm/mm
	Kg	N x 10 ³			
1	0	0	0	0,00	0,00
2	1000	10	5	0,52	1,65
3	2000	20	11	1,05	3,63
4	3000	30	17	1,57	5,61
5	4000	40	23	2,09	7,59
6	5000	50	27	2,62	8,91
7	6000	60	35	3,14	11,55
8	7000	70	41	3,66	13,53
9	8000	80	46	4,19	15,18
10	9000	90	54	4,71	17,82
11	10000	100	60	5,23	19,80
12	11000	110	67	5,76	22,11
13	12000	120	74	6,28	24,42
14	13000	130	81	6,80	26,73
15	14000	140	88	7,32	29,04
16	15000	150	96	7,85	31,68
17	16000	160	102	8,37	33,66
18	17000	170	109	8,89	35,97
19	18000	180	116	9,42	38,28
20	19000	190	124	9,94	40,92
21	20000	200	131	10,46	43,23
22	21000	210	138	10,99	45,54
23	22000	220	147	11,51	48,51
24	23000	230	155	12,03	51,16
25	24000	240	166	12,56	54,79
26	25000	250	173	13,08	57,10
27	49437,3	494,37	-	25,87	-
28					
29					
30					

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Cálculo del Modulo de Elasticidad		
N°	Esfuerzo MPa	Def. Espec 1x10 ⁻⁵ mm/mm
1	1,41	5,00
2	10,35	42,71
E =	23698,73	MPa

DIAGRAMA: ESFUERZO vs DEFORMACION ESPECÍFICA
PROBETA # 12

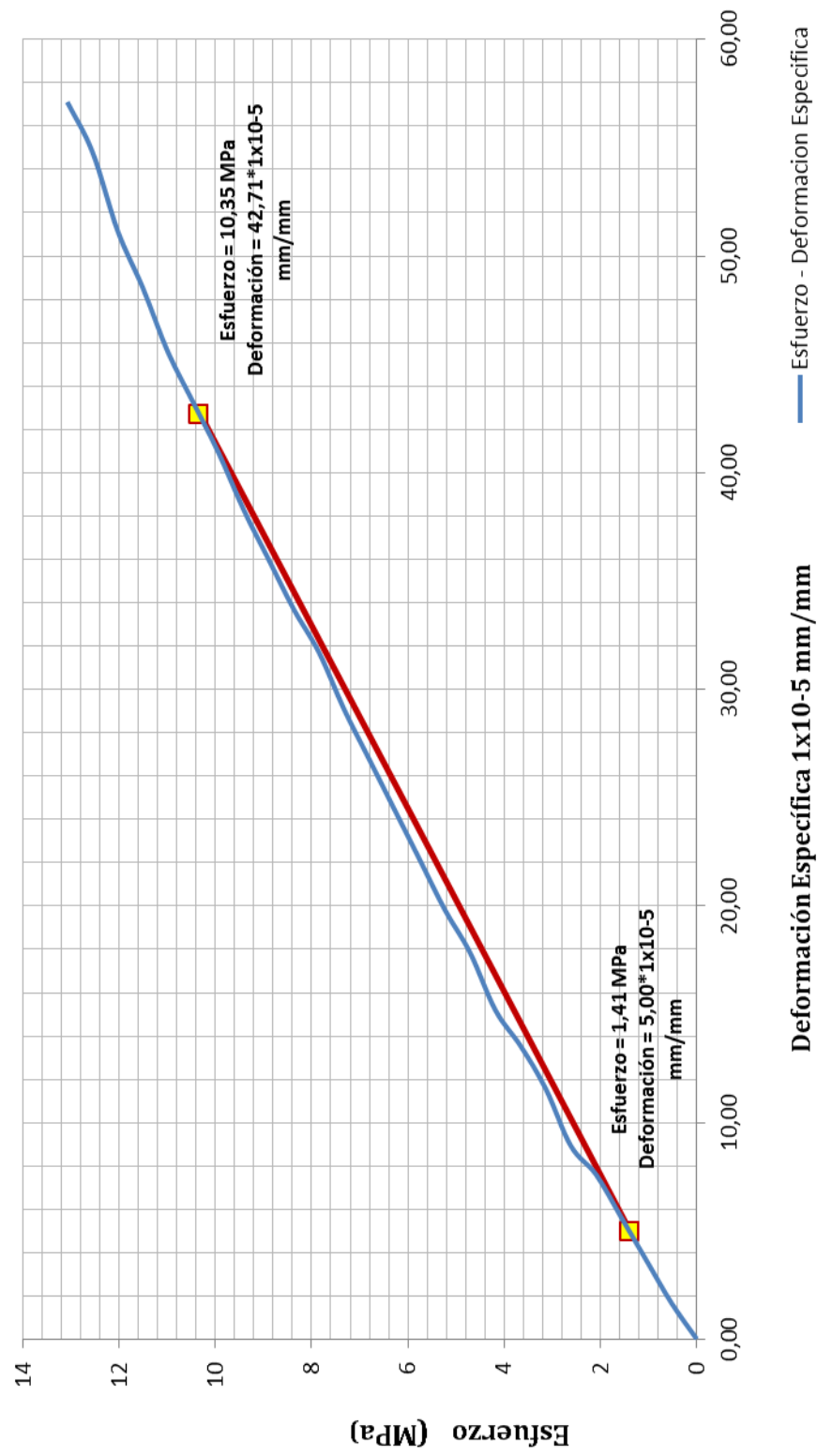


TABLA N° 6.2. Resultados del Módulo de Elasticidad Experimental.

CILINDRO N°	MPa	kg/cm2
1	24970,68	249706,83
2	23930,55	239305,455
3	23198,71	231987,093
4	24058,26	240582,626
5	24362,80	243627,965
6	24079,20	240791,987
7	24219,06	242190,617
8	24413,69	244136,946
9	23120,41	231204,145
10	24531,46	245314,587
11	24196,02	241960,169
12	23698,73	236987,276
PROMEDIO	24064,96	240649,64

FUENTE: Grupo de Tesis

✓ **Módulo de Elasticidad Teórico**

El cálculo del módulo de elasticidad teórico se encuentra establecida en el código ACI 318S-08 (American Concrete Institute) y la NEC – 2011 (Norma Ecuatoriana de la Construcción)

➤ **Norma ACI 318S-08 (American Concrete Institute)**

De acuerdo al Capítulo 8, literal 8.5 el módulo de elasticidad es:

$$E_c = 15100\sqrt{f'_c} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Donde:

f'_c = Resistencia especificada del hormigón (kg/cm^2)

➤ **NEC – 2011 (Norma Ecuatoriana de la Construcción)**

De acuerdo al Capítulo 1, literal 1.2.5.2 el módulo de elasticidad es:

$$E_c = 4.7 * \sqrt{f'_c}$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad (GPa)

f'_c = Resistencia especificada del hormigón (GPa)

Para la comparación de los mismos todos los resultados serán expresados en unidades similares (kg/cm^2 y MPa)

Cálculo Teórico del Módulo de Elasticidad del Hormigón:

El cálculo del módulo de elasticidad en forma teórica sería de acuerdo al código establecido:

➤ **Norma ACI 318S-08 (American Concrete Institute)**

Para una resistencia $f'_c = 24 \text{ MPa} = 240 \text{ kg/cm}^2$

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 15100 \sqrt{240}$$

$$E_c = 233928,19 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **NEC – 2011 (Norma Ecuatoriana de la Construcción)**

$$E_c = 4.7 * \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 4.7 * \sqrt{24000000}$$

$$E_c = 23025,20 \text{ MPa}$$

$$E_c = 230252,0 \text{ kg/cm}^2$$

6.7 ANALISIS DE RESULTADOS

TABLA N° 6.3. Resumen de los Módulos de Elasticidad Teórico y Experimental.

MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGON		
EXPERIMENTAL PROM.	TEORICO	
240649,64 kg/cm ²	ACI 318S - 08	NEC - 2011
	233928,19 kg/cm ²	230252,03 kg/cm ²

FUENTE: Grupo de Tesis

Como observamos el siguiente cuadro, podemos comparar los valores del módulo de elasticidad tanto teórico como el obtenido mediante ensayos en laboratorio, con ello deducimos las siguientes conclusiones:

- Para medir en forma experimental el módulo de elasticidad del hormigón, se lo realiza a través del diagrama Esfuerzo vs Deformación Específica siguiendo la norma ASTM - C469.
- Al comparar los valores de los módulos de elasticidad determinados teóricamente según el código ACI 318S-08 y las NEC -2011, son valores casi similares, esto es debido a los coeficientes que se han asumidos para cada reglamento según los estudios realizados.

- En el cuadro de resumen al comparar el valor del módulo de elasticidad teórico con el experimental, observamos que el módulo obtenido experimentalmente es mayor con un 3% a los módulos obtenidos teóricamente, esto es debido a la calidad del hormigón obtenido en los ensayos y a las características de sus componentes.

CAPITULO 7

DEFLEXIONES EN VIGAS

7.1 CONTROL DE LAS DEFLEXIONES

Las deflexiones estructurales se consideran a los desplazamientos verticales u horizontales que se generan en los elementos de una estructura.

Debido al método de última resistencia que se utiliza en el diseño de hormigón armado, se ha permitido diseñar elementos estructurales más esbeltos, pero más deformables; de manera que los elementos no estructurales puedan estar propensos a daños debido a las deformaciones de los miembros estructurales y a su agrietamiento.

Por tal razón el control de deflexiones es una etapa muy importante en el diseño de estructuras, por lo cual, los elementos de hormigón reforzados sometidos a flexión deben diseñarse para que tengan una rigidez adecuada, con el fin de limitar cualquier deflexión que pudiese afectar adversamente la resistencia o el funcionamiento de la estructura.

Si las deflexiones son excesivas, pueden producir agrietamientos en los elementos de hormigón armado y en componentes estructurales circundantes, desalineación y un aspecto inseguro de la estructura, por esta razón es necesario mantener el control de las deflexiones de una forma u otra, de manera que los elementos diseñados cumplan con los criterios de resistencia a cargas de servicios establecidas y condiciones ambientales para cada estructura.⁴⁵

“En general, las deflexiones de interés son aquellas que ocurren durante la vida de servicio normal del elemento. Durante el servicio un elemento sostiene la carga muerta completa más alguna fracción o toda la carga viva especificada de servicio.”⁴⁶

⁴⁵ REGLAMENTO DEL ACI – 318S-08

⁴⁶ DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO; Arthur H. Nilson; Duodécima Edición; Pág. 201

7.2 MÉTODO DEL ACI PARA EL CÁLCULO DE DEFLEXIONES

“El código del ACI (American Concrete Institute) establece que las estructuras de hormigón armado pasan por un proceso de deformación detallado a continuación;

1. En primera instancia, los elementos de hormigón estructural sufren una deformación producida por la acción inmediata de las cargas actuantes en la estructura, que dependerán del tipo de carga y de las condiciones de apoyo.
2. A lo largo del tiempo de servicio, los elementos de hormigón armado sufren deformaciones debido al flujo plástico del hormigón y la retracción del fraguado.”⁴⁷

Existen dos métodos para el cálculo de deflexiones a nivel de cargas de servicio, que son aceptables desde el punto de vista del código del ACI y son las siguientes:

✓ Relaciones mínimas altura-luz, para vigas y losas armadas en una dirección.

Es un método simple y satisfactorio, en la que consiste en dar un espesor o peralte mínimo a losas y vigas, que garanticen que las deformaciones se mantengan dentro de un rango aceptable. “Las deflexiones están influidas en forma importante por las condiciones de apoyo, de manera que las alturas mínimas deben variar en función de las condiciones de restricción de los extremos de las luces.”⁴⁸

Por tal razón el comité del ACI estableció la siguiente Tabla 9.5 (a) donde se muestran los valores de espesores mínimos de vigas y losas en función de la condición de apoyo.

⁴⁷ DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LAS CANTERAS DE PIFO, SAN ANTONIO DE PICHINCHA Y GUAYLLABAMBA. – Autores: Morales Edison, Morocho José, Porras Erick, Sánchez Nelson., Ecuador 2012, Pág. 166

⁴⁸ DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO; Arthur H. Nilson; Duodécima Edición; Pág. 207.

TABLA N° 7.1. Tabla 9.5 (a) - Espesores y Alturas mínimas de vigas no pre-esforzadas o losas reforzadas en una dirección.

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

FUENTE: Reglamento del ACI - 318S:08

“NOTAS: Los valores dados en esta tabla se deben usar directamente en elementos de hormigón de peso normal (densidad $W_c = 2300 \text{ kg/m}^3$) y acero de refuerzo grado 420 MPa. Para otras condiciones, los valores deben modificarse como sigue:

- (a) Para concreto liviano estructural con densidad dentro del rango de 1440 a 1840 kg/cm^3 , los valores de la tabla deben multiplicarse por $(1.65 - 0.0003W_c)$, pero no menos de 1.09.
- (b) Para f_y distinto de 420 MPa, los valores de esta tabla deben multiplicarse por $(0.4 + f_y/700)$.”⁴⁹

✓ Deflexiones Permisibles.

Las deflexiones permisibles de un sistema estructural se rigen por la cantidad de deflexiones parciales que se van acumulando y que pueden soportar los componentes interactivos de la estructura, sin perder la apariencia estética y sin daño para el elemento deformado.

⁴⁹ REGLAMENTO DEL ACI – 318S:08

Este método consiste en estimar su magnitud y verificar que no exceda los límites propuestos por el código ACI – 318S:08, en función del tipo de elemento y del tipo de carga actuante. . Las flechas máximas permitidas se presentan en la tabla 9.5 (b) del Código.

TABLA N° 7.2. Tabla 9.5 (b) – Máximas deflexiones admisibles calculadas.

Tipo de elemento	Deflexión considerada	Limitación
1. Techos llanos que no soportan ni están ligados a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones excesivas.	Deflexión instantánea debida a la aplicación de la carga viva.	1/80
2. Pisos que no soportan ni están ligados a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones excesivas.	Deflexión instantánea debida a la aplicación de la carga viva.	1/360
3. Techos o pisos que soportan o están ligados a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones excesivas.	Parte de la flecha total que ocurre después de la colocación de los elementos no estructurales.	1/480
4. Techos o pisos que soportan o están ligados a elementos no estructurales que no se dañan con deflexiones excesivas.		1/240

FUENTE: <http://es.scribd.com/doc/55636791/Control-Deflexiones>

7.2.1 MOMENTO DE INERCIA DE SECCIÓN AGRIETADA

Conocido como Momento de Inercia Crítica (I_{cr}), y se define como el momento de inercia de la sección agrietada transformada, esto es sin considerar el área agrietada de hormigón y reemplazando el área de acero de refuerzo por un área equivalente de hormigón.

Como sabemos una sección de hormigón armado es una sección heterogénea compuesta de hormigón simple y acero de refuerzo, para determinarlo se emplea el concepto de sección transformada, en la cual transformamos la sección heterogénea en una sección homogénea equivalente, y reemplazamos el área de acero en tracción por una área equivalente de hormigón igual a nA_s , donde por relación de rigideces tenemos:

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

Ecuación 7.1 Coeficiente equivalente de áreas.

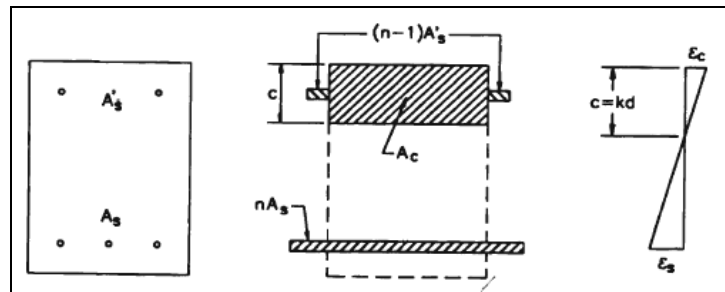
Donde:

n = Coeficiente Equivalente de áreas (Acero a Hormigón).

E_s = Modulo de elasticidad del Acero (kg/cm^2).

E_c = Modulo de elasticidad del Hormigón (kg/cm^2).

FIGURA N° 7.1. Sección transformada para el cálculo de comento de inercia crítico



FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO, Teodoro E. Harmse, Pág.196.

Si determinamos los momentos estáticos de las secciones con respecto al eje x-x, tenemos lo siguiente:

$$\frac{b * y^2}{2} + nAs * y - nAs * d = 0$$

Para calcular el momento de inercia de la sección agrietada transformada homogénea equivalente, utilizamos el teorema de Ejes Paralelos, teniendo lo siguiente:

$$I_{cr} = \frac{by^3}{3} + nAs * (d - y)^2$$

Ecuación 7.2 Inercia Crítica para una sección rectangular simplemente armada.

En el caso de una sección rectangular doblemente armada, reemplazamos el área de acero de refuerzo en compresión por un área equivalente de hormigón igual a $(n-1)*A's$,

al igual que el anterior caso, si tomamos momentos de áreas con respecto al eje x-x y luego aplicando la el teorema de ejes paralelos tenemos lo siguiente:

$$I_{cr} = \frac{by^3}{3} + (n - 1)A's * (y - d')^2 + nAs * (d - y)^2$$

Ecuación 7.3 Inercia Crítica para una sección rectangular doblemente armada.

7.2.2 MOMENTO DE INERCIA EFECTIVO

Es el momento de inercia promedio de una sección agrietada, determinado en base a una estimación de la cantidad probable de agrietamiento causado por el momento variable a lo largo del tramo de una viga.

El código Ecuatoriano de la construcción, en la sección (9.5.2.2; 9.5.2.3 del reglamento del ACI), establecen que el momento de inercia efectivo debe calcularse con la siguiente ecuación:

$$I_e = \left[\left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 * I_g + \left\{ 1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right\} I_{cr} \right] \leq I_g$$

Ecuación 7.4 Momento de Inercia Efectivo.

Donde:

I_e = Momento de inercia efectivo.

M_{cr} = Momento crítico de agrietamiento.

M_a = Momento actuante de la sección considerada, generado por las cargas de servicio, no mayoradas.

I_g = Momento de inercia de la sección inalterada.

I_{cr} = Momento de inercia de la sección agrietada transformada.

7.2.3 MOMENTO DE AGRIETAMIENTO

Conocido como momento crítico de agrietamiento (M_{cr}), se define como el momento límite con el cual el hormigón comienza a agrietarse bajo la acción de las cargas de servicio. La deducción de la fórmula parte de la utilización de la ecuación de determinación de esfuerzos normales por flexión, de acuerdo con la teoría elástica, tenemos:

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

Ecuación 7.5 Esfuerzos normales por flexión.

Donde:

σ = Esfuerzo normal por flexión.

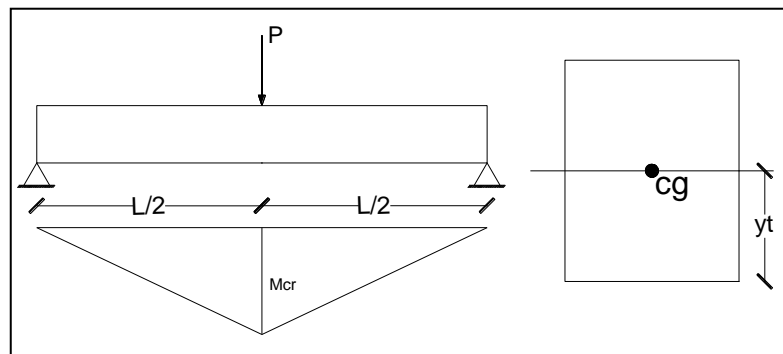
M = Momento debido a cargas actuantes.

c = distancia desde la fibra más comprimida al eje neutro.

I = Inercia del elemento.

Esta ecuación es aplicable a materiales elásticos y homogéneos, pero que puede ser aplicable en el hormigón armado para esfuerzos menores al de la zona plástica con suficiente aproximación, permitiéndonos utilizar la ecuación para determinar el momento límite de agrietamiento de la siguiente manera:

FIGURA N° 7.2. Esquema de Viga con carga Puntual.



FUENTE: Dibujo AutoCAD

“Como sabemos, el esfuerzo normal por flexión que produce los primeros indicios de agrietamiento, representa la resistencia a la flexión del hormigón, mejor conocido como el módulo de rotura f_r .

Cuando comienza a suceder el agrietamiento de la viga, la distancia del eje neutro a la fibra más traccionada de la sección (c) y la inercia de la sección (I) será tomada para la sección completa. De esta manera tenemos y_t e I_g .”⁵⁰

Entonces reemplazamos la ecuación 7.5 con los datos anteriores propuestos, teniendo así:

$$f_r = \frac{M_{cr} * y_t}{I_g}$$

De esta ecuación despejamos M_{cr} , teniendo la ecuación de momento de agrietamiento:

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{y_t}$$

Ecuación 7.6 Momento Crítico de Agrietamiento.

Donde:

M_{cr} = Momento crítico o momento límite.

f_r = Modulo de rotura del hormigón.

y_t = distancia desde la fibra más comprimida al centro de gravedad.

I_g = Momento de inercia de la sección de hormigón no agrietada.

Por consiguiente, si el momento crítico o momento límite de agrietamiento (M_{cr}) es mayor que el momento actuante (M_a), la sección no se agrieta; caso contrario, la sección se agrieta por flexión.

⁵⁰ DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LAS CANTERAS DE PIFO, SAN ANTONIO DE PICHINCHA Y GUAYLLABAMBA, Autores: Morales Edison, Morocho José, Porras Erick, Sánchez Nelson, Ecuador 2012, Pág. 169.

7.3 CÁLCULO DE DEFLEXIONES

Las deflexiones de los miembros estructurales son en función de la longitud del claro, de los apoyos o condiciones en los extremos, del tipo de cargas y de la rigidez en flexión del miembro, cada uno de ellos representan criterios importantes que deben ser tomados en cuenta en los diseños, por lo tanto, las cargas son en función del tiempo que pueden ser de dos tipos: instantáneas y de largo plazo.

Las deflexiones instantáneas se deben fundamentalmente al comportamiento elástico de la estructura y se produce inmediatamente después que las cargas son aplicadas. Mientras que las deflexiones de largo plazo se producen por consecuencia del creep y son ocasionadas por cargas a través del tiempo.

7.3.1 DEFLEXIÓN INSTANTANEA

“Llamamos deflexiones instantáneas a las deformaciones elásticas que aparecen bajo la aplicación de cargas de corta duración. Su valor depende del módulo de Rigidez a flexión ($E \cdot I$), de las secciones de la pieza considerada.”⁵¹

Las deflexiones elásticas pueden expresarse en la forma general:

$$\Delta = \frac{f(\text{cargas, luces, apoyos})}{EI}$$

Ecuación 7.7 Deflexión elástica.

Para calcular esta deformación debemos conocer las cargas actuantes o cargas de servicio que rigen en el elemento estructural, como son: la carga muerta, carga viva o la combinación de carga muerta más la carga viva.

⁵¹ *HORMIGÓN ARMADO; Montoya – Meseguer-Moran; 7ma Edición; Pág. 449*

- **Por carga muerta : $\Delta_{(m)}$**

Se debe determinar el momento flector actuante (M_a) en la sección de análisis para el peso propio, el momento de inercia efectivo y las deflexiones en el punto considerado, recomendándose cualquier método de la teoría elástica, porque esta deflexión se produce dentro de la zona elástica.

- **Por carga muerta más carga viva : $\Delta_{(m+v)}$**

Con el mismo criterio anterior, se determinara el momento flector actuante para carga muerta más carga viva, el momento de inercia efectivo y la deflexión en el punto de análisis.

- **Por carga viva únicamente : $\Delta_{(v)}$**

En algunos casos de análisis es necesario conocer la deflexión que produce únicamente la carga viva, para efectos de mayorarla o disminuirla, según se requiera, entonces tenemos:

$$\Delta_{(v)} = \Delta_{(m+v)} - \Delta_{(m)}$$

Ecuación 7.8 Deflexión por carga viva únicamente.

Estas solicitaciones no deben ser mayoradas ni expuestas a una combinación de cargas.

7.3.2 DEFLEXIONES A LARGO PLAZO

“Llamamos deflexiones a largo plazo, a las que aparecen en el transcurso del tiempo, bajo la acción de cargas de larga duración. Estas deflexiones, que vienen a sumarse a las instantáneas, están originadas por los efectos de retracción y fluencia. Su valor depende de numerosas variables: temperatura, humedad, condiciones de curado, edad del

hormigón en el momento de la puesta en carga, cuantía de la armadura de compresión, valor de la carga permanente.”⁵²

Las deflexiones a largo plazo se incrementan rápidamente en los primeros días de aplicación y conforme transcurre el tiempo, tienden a incrementarse a un ritmo cada vez menor. Estas deformaciones son ocasionadas por la carga muerta que resiste la estructura y por aquella parte de la carga viva sostenida durante un periodo suficiente como para permitir el desarrollo de deflexiones considerables.

El cálculo de las deflexiones de los miembros estructurales de hormigón armado en esta etapa, bajo cargas de servicio, es muy complejo y difícil de predecir, porque a más de las deflexiones generadas por el peso propio, cargas de servicio y flujo plástico, este conduce a un crecimiento gradual de la deflexión bajo cargas sostenidas, adicionalmente se suma el hecho de que el refuerzo no es simétrico de las vigas ($A_s > A'_s$), conducen a deflexiones que se acumulan debidas a la contracción irregular del hormigón.

Así mismo la disminución sistemática de la rigidez a flexión, producida por el agrietamiento del hormigón, también tiene un efecto apreciable en las deflexiones, haciendo difícil estimar el momento de inercia efectivo de los miembros; sin embargo, es posible estimar las deflexiones totales bajo cargas sostenidas (Δ_s) aplicando un método empírico con un margen de error ($\pm 20\%$), lo que es suficientemente exacto para la mayoría de los casos prácticos.

Según el numeral 9.5.2.5 del Código ACI 318:08: Las deflexiones adicionales bajo cargas sostenidas y por contracción a largo plazo, se pueden calcular aplicando el factor λ_Δ que se determina con la siguiente ecuación:

$$\lambda_\Delta = \frac{\varepsilon}{1 + 50 \rho'}$$

Ecuación 7.9 Factor tiempo.

⁵² *HORMIGON ARMADO; Montoya – Meseguer-Moran; 7ma Edición; Pág. 451*

Donde:

λ_{Δ} = Factor dependiente del tiempo para una duración infinita de la carga sostenida.

ξ = Factor relativo al tiempo.

ρ' = Porcentaje de refuerzo en compresión en el centro del claro de la viga y en el punto de apoyo para voladizos.

Puede tomarse ξ , el factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas, igual a: ⁵³

5 años o más.....	2.0
12 meses.....	1.4
6 meses.....	1.2
3 meses.....	1.0

Entonces, la deflexión total será:

$$\Delta_T = \Delta_{(s)} + \Delta_{(LP)}$$

Ecuación 7.10 Deflexión Total.

$$\Delta_{(LP)} = \lambda_{(\Delta)} * \Delta_{(s)}$$

Ecuación 7.11 Deflexión a largo plazo.

$$\Delta_{(s)} = \Delta_{(m)} + \% \Delta_{(V)}$$

Ecuación 7.12 Deflexión a por cargas sostenidas.

7.4 CONTROL DE AGRIETAMIENTO

En las estructuras de hormigón armado, las grietas se presentan debido a la baja resistencia a tracción del hormigón que se genera por la flexión del elemento estructural.

⁵³ REGLAMENTO DEL ACI 318:08.

El agrietamiento es inevitable y por lo tanto, el proyectista debe estudiar su comportamiento y controlar el ancho de las grietas mediante una adecuada distribución del acero de refuerzo; es decir, se tendrán grietas menores si se usan barras de menor diámetro posible con separación moderada entre ellas, que si se usan barras de mayor diámetro con grandes separaciones.

Según el reglamento del ACI, secciones 10.6.3 y 10.6.4 se requiere que el refuerzo de tensión por flexión este bien distribuido dentro de las zonas de tensión máxima, lo calculamos con la siguiente expresión:

$$S = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 * C_c \leq 300 \left(\frac{280}{f_s} \right); \text{pero no } > \text{ de } 25 \text{ cm}$$

Ecuación 7.13 Espaciamiento del refuerzo

Donde:

Cc = Menor distancia desde la superficie del refuerzo a la cara en tracción.

fs = Debe obtenerse con base en el momento no mayorado, se permite tomar fs como 2/3 de fy (kg/cm²).

Un agrietamiento excesivo afecta el recubrimiento de la armadura y puede ocasionar corrosión en el refuerzo, deterioro de la superficie y sus efectos perjudiciales a largo plazo.

Las grietas se generan por los esfuerzos que ocasionan las solicitaciones de corte, flexión; carga axial, torsión, así como la contracción de fraguado, creep, corrosión del acero, etc.

7.4.1 ANCHO DE FISURAS

Las fisuras son grietas que aparecen en los elementos estructurales de hormigón armado por causa del peso propio y de las cargas solicitantes. “El ancho de las grietas es limitado de acuerdo al tipo de exposición que tendrá el elemento diseñado. Si no está expuesto a la intemperie el ancho de la fisura deberá estar por debajo de 0.04 cm y si lo está, el ancho de fisura deberá ser menor que 0.03 cm.”⁵⁴

✓ Cálculo del Ancho de Grietas

Para estimar el máximo ancho de grieta, algunos investigadores y autores consideran razonable utilizar la ecuación empírica de Gergely - Lutz que se establece en el reglamento del ACI. Esta ecuación se basa en las experiencias de campo y de laboratorio y que toma en cuenta alguna de las muchas variables que influyen en el tamaño de las grietas.

$$W_{max} = 1,1 * \beta * f_s * \sqrt[3]{d_c * AEHT} * 10^{-5} (\text{mm})$$

Ecuación 7.14 Ancho de Grietas Máximas.

Donde:

Wmax = Ancho de Grieta en mm.

β = Relación entre las distancias desde la cara de tensión y desde el centroide del acero hasta el eje neutro, igual h_2/h_1 , adoptándose por simplificación el valor de 1,20 para vigas, 1,35 para losas armadas en una sola dirección.

dc = Espesor del recubrimiento de hormigón medido desde la cara de tensión hasta el centro de la barra más cercano a esta cara.

fs = Esfuerzo de trabajo, calculado con cargas elásticas o cargas de servicio del acero de refuerzo traccionada igual a 0,60 f_y .

⁵⁴ DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO; Teodoro E. Harmsen; 3ra Edición; Pág. 206

AEHT = Área Efectiva de Hormigón traccionada que rodea a una barra de acero. Lo deducimos con la siguiente ecuación:

$$AEHT = \frac{AHT}{NEV}$$

Ecuación 7.15 Área Efectivo de Hormigón Traccionada.

Donde:

AHT = Área de Hormigón Traccionada.

NEV = Número equivalente de varillas, igual a la relación entre el área total de refuerzo traccionada, para el área de la varilla de mayor diámetro.

✓ **Ancho Permisibles de Grietas**

El ancho máximo de grieta que se debe permitir desarrollar en un miembro estructural, depende de la función particular del elemento y de las condiciones del medio ambiente que soportara la estructura.

El código ACI 224, recomienda los siguientes anchos tolerables:

TABLA N° 7.3 Anchos Permisibles de Grietas para Hormigón Armado.

Condición de Exposición	Ancho Tolerable de la Grieta	
	Pulg.	mm.
Aire seco o membrana protectora	0.016	0.41
Humedad, aire seco, suelo	0.012	0.30
* Químicos para deshielo	0.007	0.18
Agua de mar y rocío de agua de mar: humedecimiento y secado	0.006	0.15
Estructuras de contención de agua, se excluyen ductos sin presión	0.004	0.10

*.- No aplica para nuestro país

FUENTE: DISEÑOS DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO; Arthur H. Nilson; Pág. 197

CAPITULO 8

PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE ENSAYO

8.1 OBTENCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE PROBETAS EN LA INVESTIGACIÓN

Para obtener resultados más precisos sobre la resistencia del hormigón a la compresión debemos elaborar las probetas suficientes para determinar la resistencia a las edades de 7, 14, 21, 28 y 56 días, con la finalidad de realizar el diagrama resistencia a la compresión vs edad,

Mientras más probetas ensayemos, los resultados serán más precisos, por esa razón para esta investigación se estimó una cantidad de 8 cilindros para cada edad, dando un total de 40 probetas cilíndricas de dimensiones (100 x 200) mm.

Además de los ensayos de compresión del hormigón, realizamos las siguientes probetas para los distintos ensayos previstos en esta investigación los cuales deberán ensayarse a los 28 días de edad, teniendo así:

- Para determinar la capacidad de resistencia a la tensión del hormigón (Módulo de Ruptura), elaboramos 5 vigas de dimensiones (150 x 150 x 500) mm.
- Para determinar el módulo de elasticidad del hormigón, elaboramos 12 probetas cilíndricas de dimensiones (150 x 300) mm.
- Para determinar las deflexiones en vigas, elaboramos 3 vigas de hormigón armado de dimensiones (150 x 250 x 2500) mm.

Para poder comparar los resultados de cada ensayo previsto, debemos realizar por lo menos 3 ensayos.

8.1.1 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Para obtener las probetas de hormigón que utilizaremos en los diferentes ensayos, debemos realizar la elaboración de forma correcta, con el propósito de tener mejores resultados.

✓ Proceso de preparación de la mezcla definitiva

Iniciamos con la preparación y pesaje del material que se va a utilizar para la elaboración del hormigón de acuerdo con la dosificación aprobada y con el número de muestras a obtener, estas cantidades deben estar en función de la capacidad de la concretora, debemos sacar muestras de los agregados pesados para determinar el contenido de humedad y poder corregir el agua de la mezcla.

Cuando vayamos a realizar la mezcla, debemos humedecer todo el equipo que se va a emplear, es decir: concretora, bandejas, palas, varillas de compactar, cono de Abrams, cucharas, paletas, etc., con el fin de evitar pérdidas de agua en la mezcla.

Al rato de fundir debemos realizarlo en un lugar fresco bajo techo donde la temperatura sea estable para no tener pérdidas de humedad durante la mezcla o cuando se vaya a realizar la siguiente mezcla, todo este proceso se lo realiza para la fabricación de cilindros y de vigas.

✓ Preparación de las Probetas Cilíndricas de Hormigón

Para realizar las probetas de hormigón utilizamos moldes cilíndricos metálicos compactos que deben ser limpios, impermeables y cubiertos de aceite quemado para evitar que se peguen y poder desencofrar.

Una vez mezclado los materiales colocamos en una bandeja grande, limpia y humedecida, procedemos a realizar los ensayos de asentamientos y luego colocar en los

moldes metálicos, la colocación es mediante capas de igual volumen, esto se hace con el propósito de eliminar la segregación de los materiales que componen el hormigón y hacerlo lo más compacto posible para que cumpla con la resistencia a la compresión establecida.

Para realizar la compactación del hormigón se lo hace de acuerdo a la dimensión del molde, es decir, para el molde de 150 x 300 mm, se debe colocar el hormigón en tres capas y para el molde de 100 x 200 mm, se coloca el hormigón en dos capas. Para cada capa de hormigón que se coloque se debe consolidar por medio de la varilla de compactación dando 25 golpes, cada golpe debe penetrar toda la capa colocada incluso se recomienda que la varilla penetre la capa inmediatamente anterior unos 25 mm aproximadamente. Al culminar la compactación se debe aplicar de 10 a 15 golpes con un mazo de goma, con el fin de disminuir los vacíos dejados por el apisonamiento de la varilla.

Al momento de compactar con la varilla, se debe tomar en cuenta no propinar los golpes de una manera ligera y débil, pues entonces no se logrará la consolidación apropiada del hormigón; pero tampoco se debe hacer de una manera muy vigorosa debido a que se genera segregación de los agregados gruesos y se obtendrían valores menores que las probetas consolidadas adecuadamente. También debemos ser cuidadosos al momento de propinar los golpes con el mazo, ya que al hacerlo muy fuerte se puede perder hormigón e incluso se pueden generar otros vacíos importantes en las capas consolidadas.

Los cilindros deben tener un acabado liso en su capa superior para que al momento del ensayo no se vayan a generar concentraciones de esfuerzo. Las probetas deberán ser identificadas claramente para evitar confusiones en la manipulación de las mismas.

Las probetas realizadas deben ser almacenadas en un lugar fresco donde la pérdida de humedad sea mínima (temperatura entre 16 °C y 27 °C) y que tenga una superficie lo más nivelado posible por un periodo de 24 horas. Cumplido ese tiempo, se procede a desencofrar los elementos de forma cuidadosa, con el objeto de no dañar las probetas de

hormigón; mientras que los encofrados utilizados deben ser sometidos a limpieza, ajuste y a un nuevo engrasado para su posterior reutilización.

Luego de desencofrar las probetas se almacenarán en la cámara de humedad a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta cumplir con los tiempos de ensayo de cada probeta.

✓ *Preparación de las Vigas Estándar*

Se realiza los mismos pasos que se hicieron en la fabricación de cilindros, la única diferencia es que al momento de compactar el hormigón, la viga se lo divide en tres parte iguales y cada parte con dos capas, así mismo 25 golpes por cada capa.

Para el proceso de curado se lo realiza de la misma forma que los cilindros de hormigón, en una cámara de humedad a un temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta cumplir con los tiempos de ensayo de cada viga.

✓ *Preparación de las Vigas Simplemente Armadas*

Para la realización de las vigas simplemente armadas, primero se calculó por flexión y corte en base a un diseño dúctil, dándonos como resultado la colocación de 2 varillas para compresión y 2 varillas para tracción de $\phi = 8$ mm de diámetro, para el corte nos dio estribos de $\phi = 8$ mm con una separación de 10 cm en $L/3$ y 20 cm en $L/2$.

Todos los valores anteriores están comparados con los valores mínimos que nos da el código del ACI 318:08 al igual que los requerimientos mínimos de armado de la viga.

El encofrado se lo realizo según las dimensiones de la viga con madera de monte y teniendo la suficiente resistencia al momento de colar el hormigón. El proceso de fabricación fue similar a lo descrito anteriormente en lo que respecta al hormigón, diferenciándose en la utilización de un vibrador mecánico y la colocación del hormigón en capas, cumpliendo con los requisitos de la norma ASTM C129.

Después de dos días de haber realizado las vigas procedemos a desencofrar, eso sí teniendo el cuidado respectivo para no dañar y causar fisuras prematuras. Debido al peso de cada viga lo dejamos en el mismo sitio de fabricación hasta el día del ensayo, manteniendo un proceso cuidadoso de curado y cubriéndolos con plástico para evitar el contacto directo con el ambiente.

8.2 PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PROBETAS Y ENSAYOS DE PROBETAS CILINDRICAS Y VIGAS ⁵⁵

Primeramente debemos escoger la cantera para poder extraer el material y proceder a realizar los ensayos correspondientes que se indican en el literal 2.3.

La programación utilizada toma en consideración la disposición de equipos y materiales, a su vez de los tiempos de ensayos de las probetas.

1. Traslado del material desde la cantera Río Ánzu al laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos de la Universidad Central del Ecuador.
2. Preparación de material para realizar los ensayos de los agregados tanto finos como gruesos y del cemento.
3. Dosificación de acuerdo al procedimiento de “Densidad Óptima de los Agregados” para la resistencia a la compresión $f'_c = 24 \text{ MPa}$.
4. Elaboración de mezcla de prueba y elaboración de probetas de hormigón.
5. Ensayo a compresión a los 7 días de probetas realizadas.
6. Elaboración de mezclas definitivas (cilindros y vigas).
7. Ensayo a compresión y flexión de las probetas de hormigón.
8. Elaboración de vigas de hormigón armado.
9. Ensayo a flexión de las vigas de hormigón armado.

⁵⁵ Grupo de Tesis-Módulo de Rotura del Hormigón $f_c (24,28) \text{ MPa}$.

8.3 ENSAYO DE PROBETAS CILINDRICAS Y VIGAS

Los ensayos que se realizan en probetas sirven para comprobar si la resistencia a compresión y flexión del hormigón son la que se especificaron en el diseño.

A continuación presentamos los resultados de los ensayos realizados con las probetas cilíndricas y las vigas tanto estándar como simplemente armadas.

8.3.1 RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN

Se define a la resistencia característica del hormigón como el valor estadístico de la resistencia del hormigón, que corresponde a la probabilidad que el 95% de todos los resultados de ensayos supere dicho valor.

Como sabemos el hormigón es un producto sujeto a múltiples variables resultando casi imposible encontrar una resistencia única para todos los hormigones, por lo tanto el proyectista para el diseño de mezclas debe adoptar un valor estadístico que abarque la resistencia deseada para la obra.

A causa de esta variabilidad existente, se debe dosificar el hormigón de manera que se obtenga una resistencia promedio muy por encima de la especificada f'_c .

Para la determinación de la resistencia promedio en base de un análisis estadístico se deben usar las siguientes ecuaciones de acuerdo a la resistencia a la compresión a los 28 días f'_c :

TABLA N° 8.1 Requisitos de resistencias a compresión con datos existentes.

Resistencia especificada f'_c (MPa)	Resistencia media requerida f'_{cr} (MPa)
≤ 35	$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$ $f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 3.5$
más de 35	$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$ $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s$

FUENTE: NEC-2011; Cap. 4; Estructuras de Hormigón Armado; Pág. 26.

Si el número de ensayos son menores a 30, debemos tomar un factor de mayoración de la desviación estándar.

TABLA N° 8.2 Corrección para datos estadísticos menores a 30 ensayos.

Número de Ensayos	Factor de corrección
Menos de 15	N.A.
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 ó más	1.00

FUENTE: NEC-2011; Cap. 4; Estructuras de Hormigón Armado; Pág. 26.

Si no existen datos de campo para calcular la desviación estándar, hay que tomar el valor de f'_{cr} de la siguiente tabla.

TABLA N° 8.3 Requisitos de resistencia a la compresión cuando no se disponen de datos estadísticos.

Resistencia especificada f'_c (MPa)	Resistencia media requerida f'_{cr} (MPa)
Menos de 21	$f'_c + 7.0$
21 a 35	$f'_c + 8.5$
Más de 35	$1.10f'_c + 5.0$

FUENTE: NEC-2011; Cap. 4; Estructuras de Hormigón Armado; Pág. 27.

En la norma NTE INEN-1573 hace referencia al factor de corrección en base a longitud y diámetro de los especímenes de ensayo.

TABLA N° 8.4 Factor de Corrección según la relación de Longitud al Diámetro de la Probeta

L/D	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor:	0,98	0,96	0,93	0,87

FUENTE: NTE INEN-1573:2010.

8.3.2 TABULACIÓN DE RESULTADOS Y GRÁFICOS

En este capítulo detallaremos los resultados de los ensayos realizados, como son: el ensayo de compresión de los cilindros con su respectivo diagrama (Resistencia a la compresión vs Edad) y el ensayo a la flexión del hormigón en vigas (Módulo de Rotura del Hormigón).

RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN
(MÓDULO DE ROTURA)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS ENSAYO DE TRACCION DEL HORMIGON EN VIGAS ESTANDAR NORMAS: ASTM C-78

METODO: Densidad Optima de los Agregados ORIGIN: Mina Río Anzu
FECHA DE MUESTREO: 10 de Septiembre del 2013 LUGAR: Provincia del Napo
FECHA DE ENSAYO: 24 de Septiembre del 2013 RESISTENCIA (28 días) f'_c : 24 MPa
DOSIFICACION EN OBRA : 0.50; 1.00; 1.46; 2.60 REALIZADO POR: Quingahuisa Sáez Alex
REVENIMIENTO: 8,0 cm

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN $f_c = 24 \text{ MPa}$										
N°	Dimensiones			Carga P	Sección de Falla	Módulo de Ruptura Teórico	Módulo de Ruptura Experimental	Módulo de Ruptura Teórico	Módulo de Ruptura Experimental	
	Ancho	Altura	Largo							
	cm	cm	cm	(kg)		MPa	MPa	(kg/cm2)	(kg/cm2)	
1	15,20	15,30	50,2	3210,0	Tercio Medio	3,04	4,53	30,98	45,29	
2	15,10	15,00	50,2	3050,0	Tercio Medio		4,51		45,07	
3	15,20	15,00	50,4	3450,0	Tercio Medio		5,08		50,84	
4	15,20	15,00	50,4	3160,0	Tercio Medio		4,66		46,57	
5	15,30	15,10	50,4	3570,0	Tercio Medio		5,16		51,58	
						Resistencia Promedio (kg/cm2) =				47,87

RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO DE COMPRESION REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGON
NORMAS: ASTM C-39; NTE INEN - 1573

METODO: Densidad Optima de los Agregados ORIGEN: Cantera Rio Anzu
FECHA DE MUESTREO: 10 de Septiembre del 201 LUGAR: Provincia del Napo
FECHA DE ENSAYO: 17 de Septiembre del 201 RESISTENCIA (28 dias) f'_c 24 MPa
DOSIFICACION EN OBRA 0.50;1.00; 1.46; 2,60 REALIZADO POR: Quingaluisa Saez Alex
ASENTAMIENTO: 7,5 cm

MUESTRA	EDAD	ALTURA	DIAMETRO	SECCION	CARGA	ESFUERZO	%
	días	cm	mm	mm2	kg	MPa	RECUP.
1	7	20,10	104	8494,87	15619,80	18,39	76,61
			104				
2	7	19,80	104	8413,38	15748,30	18,72	77,99
			103				
3	7	20,00	104	8494,87	16087,30	18,94	78,91
			104				
4	7	19,90	103	8251,59	15291,20	18,53	77,21
			102				
5	7	19,90	101	8091,37	15514,60	19,17	79,89
			102				
6	7	19,80	101	8091,37	15919,70	19,67	81,98
			102				
7	7	19,90	102	8171,28	16075,60	19,67	81,97
			102				
8	7	19,90	103	8332,29	15247,00	18,30	76,24
			103				
				Resultado Promedio =		18,92	78,85



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO DE COMPRESION REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGON
NORMAS: ASTM C-39; NTE INEN - 1573

METODO: Densidad Optima de los Agregados ORIGEN: Cantera Rio Anzu
FECHA DE MUESTREO: 10 de Septiembre del 201 LUGAR: Provincia del Napo
FECHA DE ENSAYO: 24 de Septiembre del 201 RESISTENCIA (28 dias) f'c 24 MPa
DOSIFICACION EN OBRA 0.50; 1.00; 1.46; 2,60 REALIZADO POR: Quingaluisa Saez Alex
ASENTAMIENTO: 7,5 cm

MUESTRA	EDAD	ALTURA	DIAMETRO	SECCION	CARGA	ESFUERZO	%
	días	cm	mm	mm2	kg	MPa	RECUP.
1	14	20,10	104	8494,87	17902,70	21,07	87,81
			104				
2	14	20,10	104	8494,87	17612,80	20,73	86,39
			104				
3	14	20,10	102	8091,37	18041,20	22,30	92,90
			101				
4	14	19,90	102	8171,28	18097,50	22,15	92,28
			102				
5	14	20,20	103	8332,29	17298,70	20,76	86,50
			103				
6	14	20,10	103	8413,38	17338,40	20,61	85,87
			104				
7	14	19,80	104	8494,87	17491,00	20,59	85,79
			104				
8	14	20,10	103	8332,29	17878,10	21,46	89,40
			103				
				Resultado Promedio =		21,21	88,37



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO DE COMPRESION REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGON
NORMAS: ASTM C-39; NTE INEN - 1573

METODO: Densidad Optima de los Agregados ORIGEN: Cantera Rio Anzu
FECHA DE MUESTREO: 10 de Septiembre del 201 LUGAR: Provincia del Napo
FECHA DE ENSAYO: 01 de Octubre del 2013 RESISTENCIA (28 dias) f'_c 24 MPa
DOSIFICACION EN OBRA 0.50;1.00; 1.46; 2,60 REALIZADO POR: Quingaluisa Saez Alex
ASENTAMIENTO: 7,5 cm

MUESTRA	EDAD	ALTURA	DIAMETRO	SECCION	CARGA	ESFUERZO	%
	días	cm	mm	mm2	kg	MPa	RECUP.
1	21	20,20	103	8332,29	19623,70	23,55	98,13
			103				
2	21	20,00	103	8251,59	19643,60	23,81	99,19
			102				
3	21	19,90	102	8171,28	18905,40	23,14	96,40
			102				
4	21	20,10	102	8171,28	19202,90	23,50	97,92
			102				
5	21	20,00	102	8171,28	19413,80	23,76	98,99
			102				
6	21	19,80	103	8251,59	19335,20	23,43	97,63
			102				
7	21	19,80	104	8494,87	19112,00	22,50	93,74
			104				
8	21	20,10	103	8332,29	19199,80	23,04	96,01
			103				
				Resultado Promedio =		23,34	97,25



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO DE COMPRESION REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGON
NORMAS: ASTM C-39; NTE INEN - 1573

METODO: Densidad Optima de los Agregados ORIGEN: Cantera Rio Anzu
FECHA DE MUESTREO: 10 de Septiembre del 2011 LUGAR: Provincia del Napo
FECHA DE ENSAYO: 08 de Octubre del 2013 RESISTENCIA (28 dias) f'_c 24 MPa
DOSIFICACION EN OBRA 0.50; 1.00; 1.46; 2.60 REALIZADO POR: Quingaluisa Saez Alex
ASENTAMIENTO: 7,5 cm

MUESTRA	EDAD	ALTURA	DIAMETRO	SECCION	CARGA	ESFUERZO	%
	días	cm	mm	mm2	kg	MPa	RECUP.
1	28	20,00	103	8332,29	20983,60	25,18	104,93
			103				
2	28	20,00	103	8251,59	20777,80	25,18	104,92
			102				
3	28	19,90	102	8251,59	20689,90	25,07	104,47
			103				
4	28	20,10	104	8494,87	21110,40	24,85	103,54
			104				
5	28	20,10	105	8659,01	21211,00	24,50	102,07
			105				
6	28	20,00	103	8332,29	21055,50	25,27	105,29
			103				
7	28	20,20	103	8413,38	21047,90	25,02	104,24
			104				
8	28	20,00	103	8332,29	21377,10	25,66	106,90
			103				
				Resultado Promedio =		25,09	104,55



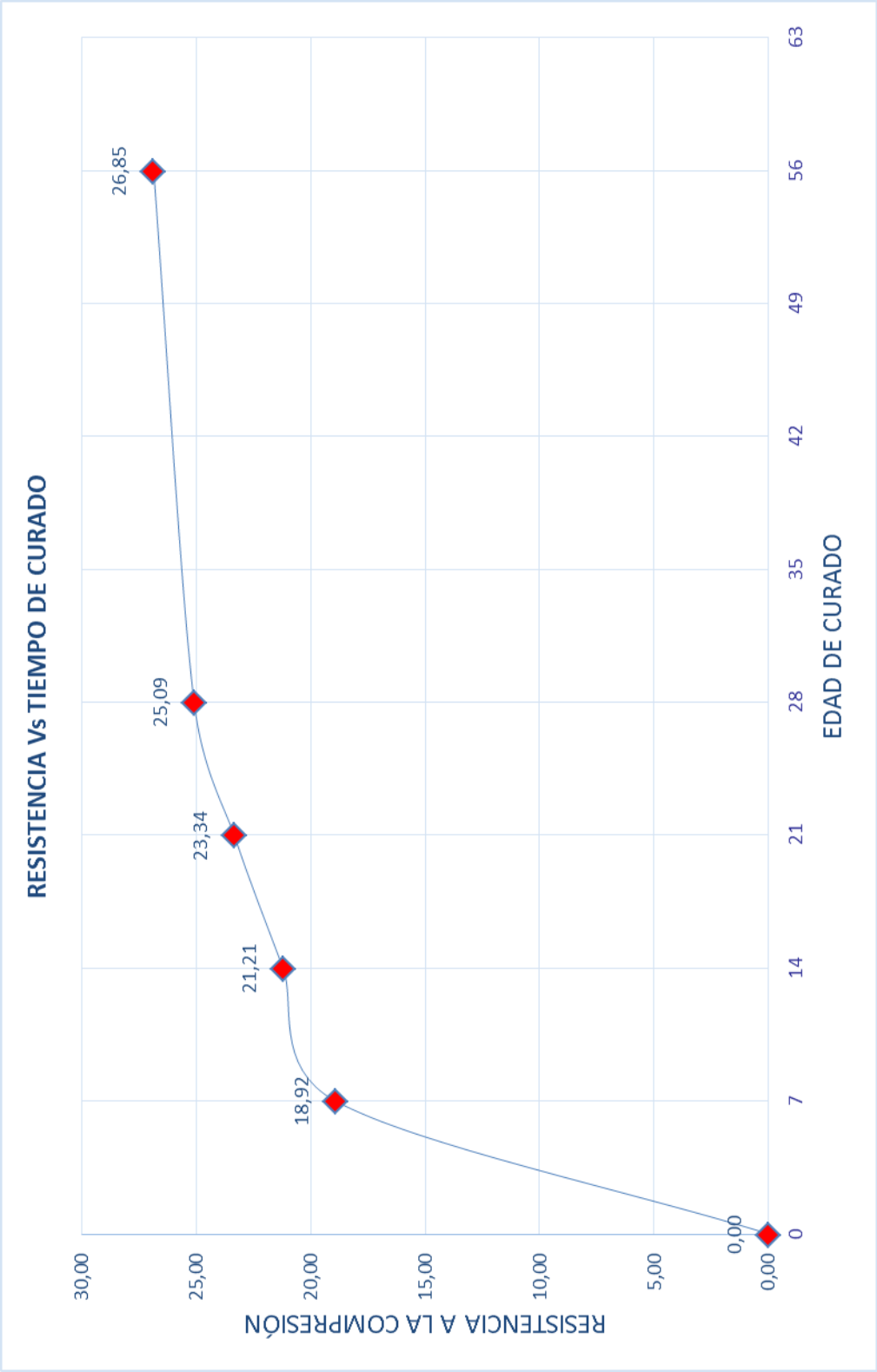
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS
ENSAYO DE COMPRESION REALIZADOS SOBRE CILINDROS DE HORMIGON
NORMAS: ASTM C-39; NTE INEN - 1573

METODO: Densidad Optima de los Agregados ORIGEN: Cantera Rio Anzu
FECHA DE MUESTREO: 10 de Septiembre del 201 LUGAR: Provincia del Napo
FECHA DE ENSAYO: 05 de Noviembre del 201 RESISTENCIA (28 días) f'_c 24 MPa
DOSIFICACION EN OBRA 0.50; 1.00; 1.46; 2,60 REALIZADO POR: Quingaluisa Saez Alex
ASENTAMIENTO: 7,5 cm

MUESTRA	EDAD	ALTURA	DIAMETRO	SECCION	CARGA	ESFUERZO	%
	días	cm	mm	mm2	kg	MPa	RECUP.
1	56	19,90	103	8413,38	22340,30	26,55	110,64
			104				
2	56	20,00	103	8332,29	22584,60	27,10	112,94
			103				
3	56	19,90	103	8413,38	22534,50	26,78	111,60
			104				
4	56	20,20	104	8494,87	22874,70	26,93	112,20
			104				
5	56	19,90	103	8413,38	22453,00	26,69	111,20
			104				
6	56	20,00	103	8413,38	22522,70	26,77	111,54
			104				
7	56	20,00	103	8413,38	22649,70	26,92	112,17
			104				
8	56	20,10	103	8413,38	22788,00	27,09	112,86
			104				
				Resultado Promedio =		26,85	111,89

DIAGRAMA (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS TIEMPO)



8.3.3 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad tiene por objeto verificar que los requisitos especificados para un cierto producto se cumplan dentro de tolerancias previas establecidas.

En el caso de estructuras de hormigón es necesario controlar la calidad de:

- ✓ Materiales componentes.
- ✓ Consistencia del hormigón.
- ✓ Tamaño del árido.
- ✓ Resistencia del hormigón.

Para controlar la calidad de la resistencia del hormigón, el diseñador debe tener en cuenta que los métodos de diseño de mezclas de hormigones son de carácter probabilístico, por lo que son importantes los resultados de los ensayos, ya que nos da la información necesaria para poder corregir el diseño de mezclas original y obtener la resistencia deseable.

De acuerdo al número de probetas ensayadas sacamos la resistencia promedio, no multiplicamos por ningún factor de corrección debido a que en cada fecha de ensayo se ensayaron un número menor a 15 especímenes de hormigón.

Para calcular la resistencia promedio, utilizamos la siguiente ecuación:

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

Ecuación 8.1 Valor Promedio.

Donde:

a_n = Resultados de Ensayos a compresión.

n = Número de ensayos realizados.

Si el resultado de la resistencia promedio a los 28 días nos da un porcentaje mayor o igual al 95 % de la resistencia de diseño, le damos como valido ese diseño de hormigón.

8.3.4 CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MÓDULO DE ROTURA)

Sabemos que el hormigón es muy malo para resistir a la tracción, pero excelente para resistir a compresión; por lo que la resistencia a la tracción del hormigón es un valor muy variable que esta entre el 10 % y el 15 % del valor de la resistencia en compresión (f_c).

En la norma ASTM-C78 (cargada en los tercios medios de la viga) y en la ASTM-C293 (cargada en el punto medio de la viga), nos indica los métodos de cálculo de la resistencia a la flexión del hormigón o conocido como módulo de rotura del hormigón.

En esta investigación utilizamos el método de la norma ASTM-C78 para obtener el módulo de rotura del hormigón experimental y poderlo relacionar con la resistencia a la compresión experimental, como se indica a continuación.

TABLA N° 8.5 Relación entre la Resistencia a Compresión y el Módulo de Rotura.

RELACIÓN DE RESULTADOS					
Resistencia a la Compresión Requerida f'_c	Resistencia a la Compresión Experimental f'_c	Módulo de Rotura f_r		Relación	
		Teórica (f_{rt})	Experimental (f_{re})	f_{rt}/f'_c	f_{re}/f'_c
MPa	MPa	MPa	MPa	%	%
24	25,09	3,17	4,79	12,63	19,08

FUENTE: Notas de Tesis.

8.4 ENSAYO DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLEMENTE ARMADAS

Este ensayo se realiza según las especificaciones de la norma ASTM C-78 y la NTE INEN-2554 explicadas en el numeral 6,4 de esta investigación.

Se aplicara una carga en el tercio medio de la luz de la viga de hormigón armado, la misma que está apoyada en sus extremos.

8.4.1 TABULACIÓN DE RESULTADOS

A continuación detallaremos los datos que utilizamos para realizar los respectivos cálculos:

✓ Datos y Dimensiones de la Viga Simplemente Armada.

$L = 250 \text{ cm}$

Luz de la Viga.

$A = 25 \text{ cm}$

Alto de la Viga.

$B = 15 \text{ cm}$

Ancho de la Viga.

$\text{rec.} = 2,50 \text{ cm}$

Recubrimiento.

$A_s = 4 \phi 8 \text{ mm}$

Acero de Refuerzo.

$\text{Est.} = 1 \phi 8 \text{ mm}$

Estribo @ 10 cm en $L/3$ y 20 cm en $L/2$.

$d = 21,30 \text{ cm}$

Distancia hasta la cara comprimida.

$I_g = 19.531,25 \text{ cm}^4$

Inercia del Elemento.

$$Y_t = 12.5 \text{ cm}$$

Distancia Eje Neutro a la cara más traccionada.

✓ Datos Obtenidos de los ensayos de tracción y compresión.

$$f'_c = 25,09 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia del Hormigón.

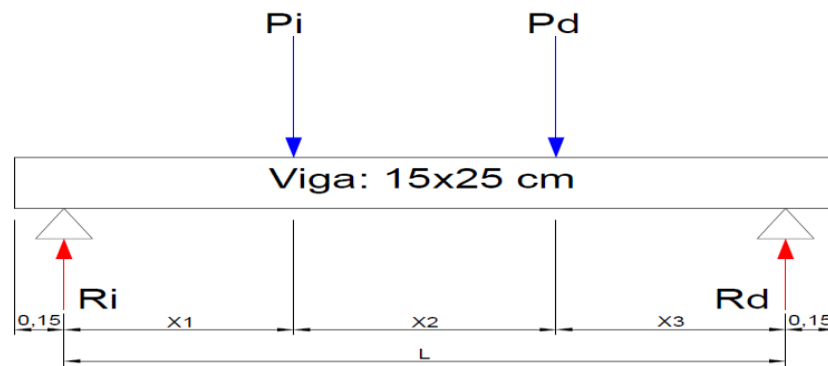
$$f_r = 47,87 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de Rotura.

$$E_c = 240649,64 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de Elasticidad Hormigón.

FIGURA N° 8.1. Esquema de Carga en Viga Simplemente Armada.



FUENTE: Dibujo AutoCAD

Los resultados de las deformaciones calculadas y leídas de las vigas simplemente armadas se exponen en la siguiente tabla.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS FLEXIÓN EN VIGA DE HORMIGÓN SIMPLEMENTE ARMADO

NORMAS: ASTM C-78

METODO: Densidad Optima de los Agregados ORIGEN: Mina Rio Anzu
FECHA DE ELABORACION: 19 de Noviembre del 2013 LUGAR: Provincia del Napo
FECHA DE ENSAYO: 17 de Diciembre del 2013 RESISTENCIA f'c : 24 MPa
DOSIFICACION EN OBRA : 0.50; 1.00; 1.46; 2.60 REALIZADO POR: Quingaluza Sáez Alex
ASENTAMIENTO: 7,0 cm ENSAYO N°: VIGA 01

X1	X2	X3	Pi	Pd	Ri	Rd	Ma	Mc	Je	Ec	ACalculada	AExperimental
cm	cm	cm	kg	kg	kg	kg	kg-cm	kg-cm	cm4	kg/cm2	mm	mm
70	80	70	0	0	0	0	0	74796,875	0,00	240649,64	0,000	0,000
			50	50	50	50	10531,25		19531,25		0,103	0,000
			100	100	100	100	14031,25		19531,25		0,108	0,000
			150	150	150	150	17531,25		19531,25		0,113	0,000
			200	200	200	200	21031,25		19531,25		0,118	0,000
			250	250	250	250	24531,25		19531,25		0,123	0,000
			300	300	300	300	28031,25		19531,25		0,129	0,000
			350	350	350	350	31531,25		19531,25		0,134	0,030
			400	400	400	400	35031,25		19531,25		0,139	0,090
			450	450	450	450	38531,25		19531,25		0,144	0,130
			500	500	500	500	42031,25		19531,25		0,149	0,210
			550	550	550	550	45531,25		19531,25		0,155	0,280
			600	600	600	600	49031,25		19531,25		0,160	0,310
			650	650	650	650	52531,25		19531,25		0,165	0,360
			700	700	700	700	56031,25		19531,25		0,170	0,410
			750	750	750	750	59531,25		19531,25		0,176	0,480
			800	800	800	800	63031,25		19531,25		0,181	0,530
			850	850	850	850	66531,25		19531,25		0,186	0,580
			900	900	900	900	70031,25		19531,25		0,191	0,650
			950	950	950	950	73531,25		19531,25		0,196	0,730
			1000	1000	1000	1000	77031,25		18123,73		0,217	0,750
			1050	1050	1050	1050	80531,25		16221,05		0,249	0,820
			1100	1100	1100	1100	84031,25		14622,26		0,283	0,840
			1150	1150	1150	1150	87531,25		13269,02		0,320	0,910
			1200	1200	1200	1200	91031,25		12115,94		0,359	0,950
			1250	1250	1250	1250	94531,25		11127,36		0,400	0,990
			1300	1300	1300	1300	98031,25		10274,94		0,443	1,070
			1350	1350	1350	1350	101531,25		9536,03		0,488	1,090
			1400	1400	1400	1400	105031,25		8892,34		0,534	1,120
			1450	1450	1450	1450	108531,25		8329,03		0,583	1,170
			1500	1500	1500	1500	112031,25		7833,92		0,632	1,220
			1550	1550	1550	1550	115531,25		7397,00		0,684	1,270
			1600	1600	1600	1600	119031,25		7009,97		0,736	1,310
			1650	1650	1650	1650	122531,25		6665,90		0,789	1,370
			1700	1700	1700	1700	126031,25		6358,99		0,843	1,420
			1750	1750	1750	1750	129531,25		6084,36		0,898	1,470
			1800	1800	1800	1800	133031,25		5837,88		0,953	1,510
			1850	1850	1850	1850	136531,25		5616,03		1,009	1,570
			1900	1900	1900	1900	140031,25		5415,80		1,065	1,640
			1950	1950	1950	1950	143531,25		5234,63		1,121	1,660
			2000	2000	2000	2000	147031,25		5070,30		1,178	1,670
			2050	2050	2050	2050	150531,25		4920,90		1,234	1,710
			2100	2100	2100	2100	154031,25		4784,77		1,291	1,740
			2150	2150	2150	2150	157531,25		4660,48		1,347	1,800
			2200	2200	2200	2200	161031,25		4546,75		1,403	1,810
			2250	2250	2250	2250	164531,25		4442,50		1,459	1,880
			2300	2300	2300	2300	168031,25		4346,75		1,514	1,900
			2350	2350	2350	2350	171531,25		4258,66		1,570	1,960
			2400	2400	2400	2400	175031,25		4177,47		1,624	2,000
			2450	2450	2450	2450	178531,25		4102,53		1,679	2,010
			2500	2500	2500	2500	182031,25		4033,23		1,733	2,100

Carga en la que Aparece la primera Fisura 1550 kg
Carga en la que Aparece la Fisura Calculada 1150 kg
Carga de falla de Viga 3090 kg



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

FLEXIÓN EN VIGA DE HORMIGÓN SIMPLEMENTE ARMADO

NORMAS: ASTM C-78

METODO: Densidad Optima de los Agregados ORIGEN: Mina Rio Anzu
 FECHA DE ELABORACION: 19 de Noviembre del 2013 LUGAR: Provincia del Napo
 FECHA DE ENSAYO: 17 de Diciembre del 2013 RESISTENCIA f'c : 24 MPa
 DOSIFICACION EN OBRA : 0.50;1.00; 1.46; 2,60 REALIZADO POR: Quingaluisa Sáez Alex
 ASENTAMIENTO: 7,0 cm ENSAYO N°: VIGA 02

X1	X2	X3	Pi	Pd	Ri	Rd	Ma	Mer	Ie	Ec	ACalculada	AExperimental
cm	cm	cm	kg	kg	kg	kg	kg-cm	kg-cm	cm4	kg/cm2	mm	mm
71,5	80	71,5	0	0	0	0	0	74796,875	0,00	240649,64	0,000	0,000
			50	50	50	50	10606,25		19531,25		0,103	0,000
			100	100	100	100	14181,25		19531,25		0,108	0,000
			150	150	150	150	17756,25		19531,25		0,113	0,000
			200	200	200	200	21331,25		19531,25		0,119	0,000
			250	250	250	250	24906,25		19531,25		0,124	0,000
			300	300	300	300	28481,25		19531,25		0,129	0,000
			350	350	350	350	32056,25		19531,25		0,134	0,000
			400	400	400	400	35631,25		19531,25		0,140	0,000
			450	450	450	450	39206,25		19531,25		0,145	0,000
			500	500	500	500	42781,25		19531,25		0,150	0,000
			550	550	550	550	46356,25		19531,25		0,156	0,050
			600	600	600	600	49931,25		19531,25		0,161	0,080
			650	650	650	650	53506,25		19531,25		0,166	0,110
			700	700	700	700	57081,25		19531,25		0,172	0,140
			750	750	750	750	60656,25		19531,25		0,177	0,170
			800	800	800	800	64231,25		19531,25		0,182	0,190
			850	850	850	850	67806,25		19531,25		0,187	0,220
			900	900	900	900	71381,25		19531,25		0,193	0,240
			950	950	950	950	74956,25		19425,25		0,199	0,290
			1000	1000	1000	1000	78531,25		17266,69		0,230	0,310
			1050	1050	1050	1050	82106,25		15467,83		0,263	0,350
			1100	1100	1100	1100	85681,25		13956,74		0,299	0,370
			1150	1150	1150	1150	89256,25		12678,12		0,338	0,410
			1200	1200	1200	1200	92831,25		11588,92		0,378	0,450
			1250	1250	1250	1250	96406,25		10655,33		0,421	0,500
			1300	1300	1300	1300	99981,25		9850,51		0,466	0,530
			1350	1350	1350	1350	103556,25		9153,02		0,513	0,580
			1400	1400	1400	1400	107131,25		8545,54		0,561	0,610
			1450	1450	1450	1450	110706,3		8014,01		0,612	0,760
			1500	1500	1500	1500	114281,25		7546,92		0,663	0,840
			1550	1550	1550	1550	117856,25		7134,79		0,716	0,860
			1600	1600	1600	1600	121431,25		6769,78		0,770	0,910
			1650	1650	1650	1650	125006,25		6445,33		0,825	1,000
			1700	1700	1700	1700	128581,25		6155,96		0,880	1,020
			1750	1750	1750	1750	132156,25		5897,06		0,936	1,200
			1800	1800	1800	1800	135731,25		5664,73		0,993	1,210
			1850	1850	1850	1850	139306,25		5455,63		1,050	1,310
			1900	1900	1900	1900	142881,25		5266,94		1,107	1,380
			1950	1950	1950	1950	146456,25		5096,22		1,165	1,510
			2000	2000	2000	2000	150031,25		4941,39		1,222	1,600
			2050	2050	2050	2050	153606,25		4800,64		1,279	1,710
			2100	2100	2100	2100	157181,25		4672,41		1,337	1,770
			2150	2150	2150	2150	160756,25		4555,33		1,394	1,790
			2200	2200	2200	2200	164331,25		4448,22		1,450	1,830
			2250	2250	2250	2250	167906,25		4350,03		1,507	1,900
			2300	2300	2300	2300	171481,25		4259,86		1,563	1,970
			2350	2350	2350	2350	175056,25		4176,91		1,619	2,040
			2400	2400	2400	2400	178631,25		4100,47		1,674	2,190
			2450	2450	2450	2450	182206,25		4029,91		1,729	2,270
			2500	2500	2500	2500	185781,25		3964,67		1,784	2,420

Carga en la que Aparece la primera Fisura 1450 kg
 Carga en la Aparece la Fisura Calculada 1050 kg
 Carga de falla de Viga 3020 kg



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

FLEXIÓN EN VIGA DE HORMIGÓN SIMPLEMENTE ARMADO

NORMAS: ASTM C-78

METODO: Densidad Optima de los Agregados ORIGEN: Mina Rio Anzu
 FECHA DE ELABORACION: 19 de Noviembre del 2013 LUGAR: Provincia del Napo
 FECHA DE ENSAYO: 17 de Diciembre del 2013 RESISTENCIA f'c : 24 MPa
 DOSIFICACION EN OBRA : 0.50; 1.00; 1.46; 2.60 REALIZADO POR: Quingaluisa Sáez Alex
 ASENTAMIENTO: 7,0 cm ENSAYO N°: VIGA 03

X1	X2	X3	Pi	Pd	Ri	Rd	Ma	Mcr	Ie	Ec	ΔCalculada	ΔExperimental
cm	cm	cm	kg	kg	kg	kg	kg-cm	kg-cm	cm4	kg/cm2	mm	mm
70,5	80	70,5	0	0	0	0	0	74796,875	0,00	240649,64	0,000	0,000
			50	50	50	50	10556,25		19531,25		0,103	0,000
			100	100	100	100	14081,25		19531,25		0,108	0,000
			150	150	150	150	17606,25		19531,25		0,113	0,040
			200	200	200	200	21131,25		19531,25		0,118	0,050
			250	250	250	250	24656,25		19531,25		0,124	0,060
			300	300	300	300	28181,25		19531,25		0,129	0,070
			350	350	350	350	31706,25		19531,25		0,134	0,090
			400	400	400	400	35231,25		19531,25		0,139	0,100
			450	450	450	450	38756,25		19531,25		0,145	0,110
			500	500	500	500	42281,25		19531,25		0,150	0,120
			550	550	550	550	45806,25		19531,25		0,155	0,130
			600	600	600	600	49331,25		19531,25		0,160	0,150
			650	650	650	650	52856,25		19531,25		0,165	0,160
			700	700	700	700	56381,25		19531,25		0,171	0,200
			750	750	750	750	59906,25		19531,25		0,176	0,210
			800	800	800	800	63431,25		19531,25		0,181	0,220
			850	850	850	850	66956,25		19531,25		0,186	0,240
			900	900	900	900	70481,25		19531,25		0,192	0,250
			950	950	950	950	74006,25		19531,25		0,197	0,260
			1000	1000	1000	1000	77531,25		17830,67		0,221	0,270
			1050	1050	1050	1050	81056,25		15963,46		0,254	0,300
			1100	1100	1100	1100	84581,25		14394,64		0,289	0,310
			1150	1150	1150	1150	88106,25		13066,90		0,326	0,340
			1200	1200	1200	1200	91631,25		11935,66		0,365	0,350
			1250	1250	1250	1250	95156,25		10965,87		0,407	0,360
			1300	1300	1300	1300	98681,25		10129,73		0,450	0,460
			1350	1350	1350	1350	102206,25		9404,98		0,496	0,640
			1400	1400	1400	1400	105731,25		8773,68		0,543	0,690
			1450	1450	1450	1450	109256,25		8221,23		0,592	0,720
			1500	1500	1500	1500	112781,25		7735,71		0,643	0,850
			1550	1550	1550	1550	116306,25		7307,27		0,694	1,150
			1600	1600	1600	1600	119831,25		6927,76		0,747	1,200
			1650	1650	1650	1650	123356,25		6590,40		0,801	1,360
			1700	1700	1700	1700	126881,25		6289,50		0,855	1,400
			1750	1750	1750	1750	130406,25		6020,25		0,911	1,440
			1800	1800	1800	1800	133931,25		5778,61		0,967	1,490
			1850	1850	1850	1850	137456,25		5561,12		1,023	1,550
			1900	1900	1900	1900	140981,25		5364,84		1,079	1,640
			1950	1950	1950	1950	144506,25		5187,25		1,136	1,720
			2000	2000	2000	2000	148031,25		5026,17		1,193	1,770
			2050	2050	2050	2050	151556,25		4879,73		1,249	1,860
			2100	2100	2100	2100	155081,25		4746,30		1,306	1,930
			2150	2150	2150	2150	158606,25		4624,47		1,363	2,000
			2200	2200	2200	2200	162131,25		4513,01		1,419	2,050
			2250	2250	2250	2250	165656,25		4410,84		1,475	2,100
			2300	2300	2300	2300	169181,25		4317,00		1,531	2,200
			2350	2350	2350	2350	172706,25		4230,67		1,586	2,270
			2400	2400	2400	2400	176231,25		4151,10		1,641	2,360
			2450	2450	2450	2450	179756,25		4077,66		1,696	2,510
			2500	2500	2500	2500	183281,25		4009,76		1,750	2,580

Carga en la que Aparece la primera Fisura 1500 kg
 Carga en la Aparece la Fisura Calculada 1100 kg
 Carga de falla de Viga 3060 kg

8.4.2 COMPARACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS CON VALORES TEÓRICOS DE DEFLEXIONES

Los resultados del ensayo de deflexiones en vigas nos dan a conocer los valores de cargas en donde se producen la primera fisura y la falla de la viga, también podemos comparar las deflexiones experimentales y las calculadas tanto instantánea como a largo plazo con los permitidos por la norma ACI 318S – 08.

- ✓ **“Carga de fisura.”**- Es el valor de la carga necesaria para el apareamiento del primer signo de agrietamiento en la viga armada. Este valor puede ser calculado asumiendo que el momento máximo actuante en la viga armada es el momento crítico, el cual depende íntegramente de las propiedades de la viga y sus materiales. Este valor también puede ser determinado experimentalmente a través de la observación de la primera fisura durante el ensayo.
- ✓ **Carga de falla.**- Es el valor de la carga necesaria para que la viga deje su comportamiento elástico. Este valor puede ser determinado experimentalmente en el momento de efectuarse un cambio brusco de lectura en el dial de deformaciones. “⁵⁶

TABLA N° 8.6 Comparación entre valores teóricos y experimentales de las deflexiones.

DEFLEXIONES							
N°	CARGA DE FALLA EXPERIMENTAL	DEFLEXIÓN EXPERIMENTAL (Δ_e)	CARGA DE FALLA CALCULADA	DEFLEXIÓN CALCULADA		DEFLEXION TOTAL (Δ_T)	DEFLEXIÓN MÁXIMA ADMISIBLE (ACI)
				INSTENTANEA (Δ_s)	A LARGO PLAZO (Δ_{LP})		
	kg	mm	kg	mm	mm	mm	mm
1	1150	0,910	1068,53	0,320	0,498	0,818	5,208
2	1050	0,350	1046,11	0,263	0,527	0,790	5,208
3	1100	0,310	1060,95	0,289	0,577	0,866	5,208

FUENTE: Notas de Tesis.

⁵⁶ DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y DEFLEXIONES EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LAS CANTERAS DE PIFO, SAN ANTONIO DE PICHINCHA Y GUAYLLABAMBA, Autores: Morales Edison, Morocho José, Porras Erick, Sánchez Nelson, Ecuador 2012, Pág. 261.

CAPITULO 9

RESULTADOS FINALES

9.1 RESUMEN FINAL DE LOS RESULTADOS

Los ensayos a probetas de hormigón que se hicieron en esta investigación se realizaron según las normas ASTM y NTE INEN, lo detallamos a continuación sus resultados.

✓ Resistencia a la Compresión.

Determinamos la resistencia a la compresión en base a ensayos de probetas de hormigón a compresión:

a) Probetas Estándar de 100 x 200 mm.

TABLA N° 9.1 Resistencia a la compresión en probetas estándar (100x200 mm).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
CANTERA	RESISTENCIA ESPECIFICADA	RESULTADO PROMEDIO DE ENSAYOS	% DE RESISTENCIA
	MPa	MPa	%
RIO ANZU	24	25,09	104,55

b) Probetas Estándar de 150 x 300 mm.

TABLA N° 9.2 Resistencia a la compresión en probetas estándar (150x300 mm).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
CANTERA	RESISTENCIA ESPECIFICADA	RESULTADO PROMEDIO DE ENSAYOS	% DE RESISTENCIA
	MPa	MPa	%
RIO ANZU	24	25,56	106,49

✓ **Resistencia a la Tracción (Módulo de Rotura).**

El módulo de rotura se determinó mediante el ensayo en vigas estándar de 150 x 150 x 500 mm, se considera que el módulo de rotura del hormigón varía entre el 10% al 15% de la resistencia a la compresión del hormigón f'_c .

Las fórmulas utilizadas por el ACI – 318, para calcular el módulo de ruptura utilizamos las siguientes fórmulas:

$$f_r = 0,62 * \sqrt{f'_c}, \quad \text{donde } f'_c \text{ en MPa.}$$

$$f_r = 2 * \sqrt{f'_c}, \quad \text{donde } f'_c \text{ en kg/cm}^2.$$

Ecuación 9.1 Módulo de Rotura del Hormigón - Teórico.

TABLA N° 9.3 Resistencia a la compresión en probetas estándar (150x300 mm).

MÓDULO DE ROTURA					
CANTERA	RESISTENCIA TEÓRICA	RESISTENCIA EXPERIMENTAL	RESISTENCIA TEORICA	RESISTENCIA EXPERIMENTAL	% DE RESISTENCIA
	MPa	MPa	kg/cm2	kg/cm2	%
RIO ANZU	3,04	4,79	30,98	47,87	154,52

✓ **Módulo de Elasticidad**

Los resultados del ensayo de Modulo de elasticidad obtenidos experimentalmente lo comparamos con el módulo de elasticidad teóricos obtenidos por las normas ACI 318S-08 y la NEC-2011.

El procedimiento para el cálculo se lo realiza mediante interpolación para determinar el esfuerzo a una deformación de 5 mm y el mismo procedimiento para determinar la deformación al 40 % de la carga de falla.

TABLA N° 9.4 Comparación - Módulo de Elasticidad

Resistencia a la Compresión Teórica f'_c	Resistencia a la Compresión Experimental f'_c	MÓDULO DE ELASTICIDAD		
		EXPERIMENTAL	ACI 318S - 08	NEC - 2011
MPa	MPa	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
24	25,56	240649,64	233928,19	230252,04

Como podemos observar, el módulo de elasticidad obtenido experimentalmente es un poco mayor a los módulos obtenidos por las normas que lo regularizan, esto es debido a varios factores que intervienen al momento de realizar las mezclas y de obtener las probetas.

✓ **Deflexiones en Vigas de Hormigón Simplemente Armadas**

Al aplicar las cargas puntuales a los tercios de la luz de la viga, podemos comparar las deflexiones mediadas durante el ensayo con las obtenidas teóricamente según el código del ACI 318S:08.

Debemos comparar las deflexiones medidas y calculadas con la condición más crítica que propone el código del ACI 318S:08, la cual es determinada al dividir la luz de la viga para 480. Como se indica en la tabla 7.2.

TABLA N° 9.5 Deflexiones Medidas Vs Deflexión Máxima.

N°	CARGA DE FALLA EXPERIMENTAL	DEFLEXION CALCULADA		DEFLEXION TOTAL (ΔT)	DEFLEXIÓN EXPERIMENTAL L (Δe)	DEFLEXIÓN MÁXIMA (ACI)
		INSTANTANEA	A LARGO PLAZO			
	kg	mm	mm	mm	mm	mm
1	1150	0,320	0,498	0,818	0,910	5,208
2	1050	0,263	0,527	0,790	0,350	5,208
3	1100	0,289	0,577	0,866	0,310	5,208

Como observamos, las deflexiones obtenidas durante el ensayo y las calculadas teóricamente, se encuentran dentro del rango permisible.

Los resultados mencionados anteriormente corresponden al momento en el cual aparece la grieta calculada en cada una de las vigas de ensayo.

✓ Ancho de Grieta

El ancho de grieta lo calculamos de acuerdo a la ecuación indicada en el literal 7.4.1 de esta investigación:

$$W_{max} = 1,1 * \beta * f_s * \sqrt[3]{d_c * AEHT} * 10^{-5}(\text{mm})$$

Datos:

$$\beta = 1,2 \text{ para vigas}$$

$$f_s = 0,60 * 4200 = 2520 \text{ kg/cm}^2$$

$$d_c = 3,70 \text{ cm}$$

Para el Área Efectiva de Hormigón Traccionada (AEHT) lo calculamos de la siguiente manera:

Área de hormigón traccionada.

$$AHT = bw * 2 y$$

$$AHT = b * 2 d_c$$

$$AHT = 15 * 2 * 3.70$$

$$AHT = 111 \text{ cm}^2$$

Número equivalente de varillas

$$A_s = 1,01 \text{ cm}^2$$

$$1 \phi 8 \text{ mm} = 0,503 \text{ cm}^2$$

$$NEV = \frac{1,01}{0,503}$$

$$NEV = 2$$

Entonces:

$$AEHT = \frac{AHT}{NEV}$$

$$AEHT = \frac{111}{2} = 55,50 \text{ cm}^2$$

Aplicando la Ecuación:

$$W_{max} = 1,1 * 1,2 * 2520 * \sqrt[3]{3,70 * 55,50} * 10^{-5} (\text{mm})$$

$$W_{max} = 0,196 \text{ (mm)}$$

Comparándola con la condición de exposición al aire seco o membrana protectora tenemos:

$$W_{max} = 0,196 < W_{adm.} = 0,41 \text{ (mm)}$$

Como observamos el ancho de grieta calculado es menor al ancho de grieta admisible.

9.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

✓ Resistencia a la Compresión

- Para obtener la resistencia especificada a la compresión de $f_c = 24$ MPa, realizamos el diseño de la dosificación mediante el método de “Densidades Óptimas de los Agregados” para una resistencia requerida de $f_{cr} = 32,5$ MPa, ya que ese método nos acerca a un diseño más real de acuerdo a las características de los materiales, obteniendo como resultado un hormigón trabajable, consistente y homogéneo.
- La dosificación final óptima para la obtención de la resistencia especificada a la compresión del hormigón, se elaboró con los agregados de la Cantera Río Ánzu y cemento Lafarge (Selva Alegre Plus), obteniendo los siguientes valores:

DOSIFICACIÓN	
Agua	0,52
Cemento	1,00
Arena	1,46
Ripio	2,60

- Este diseño de hormigón no requiere de aditivo para obtener una buena plasticidad, debido a que su relación agua/cemento es mayor a 0.50, según el numeral 4.3.2 de la presente investigación con su respectiva tabla N° 4.1.
- El asentamiento obtenido en las mezclas definitivas fue de 7 cm, cumpliendo con el asentamiento calculado de 8 ± 1 cm y respetando la relación agua/cemento establecida en el diseño.
- En el caso de nuestra arena que es fina y cercana a los límites establecidos en el ensayo de granulometría, se debió incrementar la cantidad de pasta para que se

cubran todas las partículas y así obtener una mezcla trabajable y sobre todo la resistencia buscada.

- Los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros de hormigón a los 28 días de edad, establecidos en esta investigación, son los siguientes:

Probeta (mm)	Edad (días)	Resistencia Especificada	Resistencia Experimental	% de Resistencia
		MPa	MPa	%
100 x 200	28	24	25.09	104.55
150 x 300			25.56	106.49

- Como observamos los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros de hormigón hay una pequeña variación entre la resistencia especificada con la resistencia experimental, teniendo para los cilindros de 100 x 200 mm un 4.55 % y para los cilindros de 150 x 200 mm un 6.49 % más de resistencia que la especificada, esto puede ser debido a la forma de curado de las probetas, a la dimensión del espécimen, a la forma de aplicar la carga durante el ensayo y la forma de compactar durante la puesta en el encofrado.
- En el ensayo de abrasión del agregado grueso obtuvimos un coeficiente de uniformidad de 0.19, concluyendo que el agregado de la cantera Río Ánzu es de excelente calidad para la realización de hormigones con resistencias mayores a 24 MPa.
- Con los resultados de los ensayos a compresión de los cilindros de 100 x 200 mm a las edades de 7, 14, 21, 28 y 56 días, elaboramos la curva de resistencia a la compresión con respecto al tiempo de curado (edad), observamos que la resistencia aumenta significativamente los primeros 7 días alcanzando un 78,85% de la resistencia especificada, a los 28 días la resistencia aumenta en un 4.55% más de la especificada y a los 56 días la resistencia aumenta en un 11,89 %. Con esos datos obtenidos podemos concluir que este hormigón es aceptable para todo tipo de obras civiles según los resultados de los ensayos.

✓ Módulo de Elasticidad

- Los resultados indicados en la siguiente tabla, determinan la comparación del módulo de elasticidad experimental con los módulos calculados teóricamente dados por los códigos del ACI y la NTE INEN, concluyendo que el módulo experimental es mayor en un 2.80 % con respecto a los módulos teóricos.

Resistencia a la Compresión Teórica f'_c	Resistencia a la Compresión Experimental f'_c	MÓDULO DE ELASTICIDAD		
		EXPERIMENTAL	ACI 318S - 08	NEC - 2011
MPa	MPa	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
24	25,56	240649,64	233928,19	230252,04

- Podemos deducir la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón para los materiales utilizados en la presente investigación, los agregados de la cantera “Rio Ánzu” ubicado en la ciudad del Tena, y cemento Lafarge “Selvalegre Plus”, proponiendo las siguientes ecuaciones:

Ecuación Teórica:

$$E_c = 15053 \sqrt{f'_c} \quad ; \text{ para } f'_c \text{ en kg/cm}^2$$

$$E_c = 4760 \sqrt{f'_c} \quad ; \text{ para } f'_c \text{ en MPa}$$

Ecuación Práctico:

$$E_c = 15050 \sqrt{f'_c} \quad ; \text{ para } f'_c \text{ en kg/cm}^2$$

$$E_c = 4750 \sqrt{f'_c} \quad ; \text{ para } f'_c \text{ en MPa}$$

✓ Módulo de Rotura

- Podemos concluir que la resistencia a la tracción del hormigón MR obtenido del ensayo de las vigas estándar se encuentra entre un 15% a 20% de la resistencia a la compresión del hormigón, también comparamos los valores del MR teórico con el experimental, teniendo como resultado que el MR teórico es el 12,63 % del f'_c teórico y el MR experimental es el 19,08 % del f'_c experimental, como se indican en la siguiente tabla.

RELACIÓN DE RESULTADOS					
Resistencia a la Compresión Requerida f'_c	Resistencia a la Compresión Experimental f'_c	Módulo de Rotura fr		Relación	
		Teórica (frt)	Experimental (fre)	frt/ f'_c	fre/ f'_c
MPa	MPa	MPa	MPa	%	%
24	25,09	3,17	4,79	12,63	19,08

- El módulo de rotura del hormigón calculado teóricamente es 3.17 MPa, siendo menor que el módulo de rotura obtenido experimentalmente que es 4.79 MPa, su variación esta alrededor del 50%, esto se debe que al calcular en forma teórica, las ecuaciones dadas por el ACI 318S:08 son empíricas en base a varios ensayos realizados con materiales de los EE. UU, por tal razón también concluimos que la calidad de los materiales afecta definitivamente los resultados de los ensayos.
- Según los resultados obtenidos de los ensayos, podemos proponer la ecuación del módulo de rotura del hormigón para estos materiales utilizados, los agregados de la cantera “Rio Ánzu” ubicado en la ciudad del Tena y cemento Lafarge “Selvalegre Plus”.

Ecuación Teórico:

$$f_r = 3,0221 \sqrt{f'_c} \quad \text{para } f'_c \text{ en kg/cm}^2$$

$$f_r = 0.9562 \sqrt{f'_c} \quad \text{para } f'_c \text{ en MPa}$$

Ecuación Practico:

$$f_r = 3,02 \sqrt{f'_c} \quad \text{para } f'_c \text{ en kg/cm}^2$$

$$f_r = 0.95 \sqrt{f'_c} \quad \text{para } f'_c \text{ en MPa}$$

✓ Deflexiones en Vigas Simplemente Armadas

- Las deflexiones y los agrietamientos en elementos de hormigón, son inevitables, por lo tanto debemos controlar los anchos de grietas para evitar daños al elemento estructural, si el ancho de la grieta es excesiva se tiene el alto riesgo de corroer al acero y hacerle que falle el elemento estructural.
- Una buena calidad y forma de curado que se dé al elemento estructural, ayuda a reducir la contracción del hormigón y así evitar fisuras prematuras.
- Como se observa en la tabla, las cargas experimentales con las que fallaron las vigas son ligeramente mayores a las cargas de falla calculadas, mientras que la deflexión calculada de la viga 1 es menor que la deflexión experimental, estas variaciones se deben a varios factores que no se consideran al momento de realizar el cálculo teórico de las deflexiones como son: colocación del hormigón, tipo de armado del acero de refuerzo de la viga, el tipo de ensayo a realizarse.

Nº	CARGA DE FALLA EXPERIMENTAL	CARGA DE FALLA CALCULADA	DEFLEXION CALCULADA		DEFLEXION TOTAL (ΔT)	DEFLEXIÓN EXPERIMENTAL (Δe)	DEFLEXIÓN MÁXIMA (ACI)
			INSTANTANEA	A LARGO PLAZO			
	kg	kg	mm	mm	mm	mm	mm
1	1150	1068,53	0,320	0,498	0,818	0,910	5,208
2	1050	1046,11	0,263	0,527	0,790	0,350	5,208
3	1100	1060,95	0,289	0,577	0,866	0,310	5,208

- El valor de la deflexión máxima experimental obtenida es de 0,91 mm correspondiente a la viga 1, es menor que la deflexión máxima admisible dada por el ACI que es de 5,208 mm.
- Las vigas ensayadas fallaron por colapso del hormigón (Aplastamiento) y no por fluencia del acero, por tal razón efectivamente el hormigón un material con baja resistencia a la tracción.
- Las primeras fisuras aparecieron muy cerca al centro de la viga, la cual es debido a que las cargas actuantes estaban a los tercios de la luz de la viga.
- El valor calculado del ancho de la grieta para las vigas es de 0.19 mm, comparándola con el valor admisible de 0.41 mm que es la ancho más crítico dado por el código ACI 224, concluimos que el ancho de la grieta calculada se encuentra dentro del rango admisible.

9.3 RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS

- Las canteras que proveen de material pétreo en nuestro país deberían contar con la información suficiente sobre las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.
- Para los materiales pétreos obtenidos de canteras de la amazonia, debe realizarse una limpieza previa del material pétreo, ya que esta posee materia orgánica debido a que se extrae de ríos.
- Al momento de seleccionar la arena, debe hacérselo de un solo montículo y de una sola cantera, ya que las arenas de río varían de acuerdo al tipo de desgaste que haya tenido la piedra, llegando a tener arenas hasta muy finas que no pueden estar dentro del rango en la granulometría para preparar el hormigón.
- Se recomienda seguir realizando estudios de los agregados a las canteras de la amazonia que provean de este producto para la construcción, ya que en esta investigación ha demostrado que el material pétreo es de muy buena calidad al momento de realizar hormigones.
- De acuerdo a los resultados obtenidos sobre el Módulo de Elasticidad, Módulo de rotura del hormigón y control de deflexiones, fabricados con los agregados de la Cantera Rio Ánzu – Ciudad de Tena y Cemento Selva Alegre Plus, se recomienda utilizar estos materiales para la fabricación de hormigones de resistencias de 24 y 28 MPa.

BIBLIOGRAFÍA

1. NILSON H., Arthur; Diseño de Estructuras de Concreto; duodécima edición; Colombia, 1999; 713 Páginas.
2. NEVILLE, Adam; Tecnología del Concreto; Primera edición traducida al español; México, 1992; 397 Páginas.
3. JIMENEZ, GARCIA, MORAN; Hormigón Armado; 7ma edición; Tomo I; Editorial Gustavo Gili. S.A Barcelona; 697 Páginas.
4. Ing. GARZON, Marco; Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón, 2010; 51 Páginas.
5. Ing. CAMANIERO, Raúl; Dosificación de Mezclas; 85 Páginas.
6. NORMAS INEN, Instituto Ecuatoriano de Normalización.
7. CODIGO ACI 318S-08 (American Concrete Institute).
8. NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción.
9. NAWY, Edward; Concreto Reforzado; Edición en Español, México; 731 Páginas.
10. CUEVAS, Oscar; ROBLES, Francisco; Aspectos Fundamentales de Concreto Reforzado; Editorial Limusa; Cuarta edición, 2005; 350 páginas.
11. Ing. RIVERA, Gerardo; Concreto Simple, 2010; 267 Páginas.
12. Ing. CARRASCO, Ma. Fernanda, Tecnología del Hormigón, Año 2011; 210 Páginas.
13. MORALES, Edison; PORRAS, Erick; MOROCHO, José; SANCHEZ, Nelson; Determinación del módulo de rotura y deflexiones en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de las canteras de Pifo, San Antonio de pichincha y Guayllabamba; Ecuador 2012; 276 Páginas.

WEBGRAFÍA

1. <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/agregados-en-el-hormigon.html>
2. <http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados.shtml>
3. <http://www.imcyc.com/revista/1998/junio/adregados.htm>

4. <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2006%20-%20Resistencia.pdf>
5. <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2008%20-%20Dosificacion%20de%20mezclas%20de%20concreto.pdf>
6. <http://civilgeeks.com/2013/10/17/manual-de-agregados-para-el-concreto/>
7. <http://www.lafarge.com.ec/guahormigon.pdf>
8. <http://es.scribd.com/doc/175258687/concreto-120805045541-phpapp01-ppt>
9. <http://dspace.ucuenca.edu.ec:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2510/tm4633.pdf?sequence=1>
10. <http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n>
11. <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n>
12. <http://publiespe.espe.edu.ec/academicas/hormigon/hormigon01.htm>
13. <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/04/relacion-aguacemento-ac.html>
14. <http://www.icpa.org.ar/publico/files/relacion%20agua%20cemento.pdf>
15. Fuente: <http://www.arqhys.com/contenidos/hormigon-propiedades.html>
16. <http://360gradosblog.com/index.php/importancia-del-agua-en-el-concreto/>
17. <http://es.scribd.com/doc/55636791/Control-Deflexiones>
18. http://books.google.com.ec/books?id=Gr3Ga9__NB4C&pg=PA199&lpg=PA199&dq=control+de+deflexiones&source=bl&ots=0DNw_zRLWz&sig=5dBALsVi2NtAhazGMp_ftDWf-gE&hl=es-419&sa=X&ei=GbxAU6STLJPLsQSOloKYCQ&ved=0CD0Q6AEwAg#v=onepage&q=control%20de%20deflexiones&f=false
19. http://books.google.com.ec/books?id=Gr3Ga9__NB4C&pg=PA199&lpg=PA199&dq=control+de+deflexiones&source=bl&ots=0DNw_zRLWz&sig=5dBALsVi2NtAhazGMp_ftDWf-gE&hl=es-419&sa=X&ei=GbxAU6STLJPLsQSOloKYCQ&ved=0CD0Q6AEwAg#v=onepage&q=control%20de%20deflexiones&f=false
20. <http://es.scribd.com/doc/55636791/Control-Deflexiones>

ANEXOS

- **Anexo 1.-** Recolección del Material en la Cantera.



- **Anexo 2.-** Ensayo de Abrasión



- **Anexo 3.-** Ensayo de Colorimetría



- **Anexo 4.-** Ensayo de Granulometría



- **Anexo 5.-** Ensayo de Densidad Aparente de los Agregados Suelta y Compactada





- **Anexo 6.-** Ensayo Densidad Real de los Agregados (SSS)





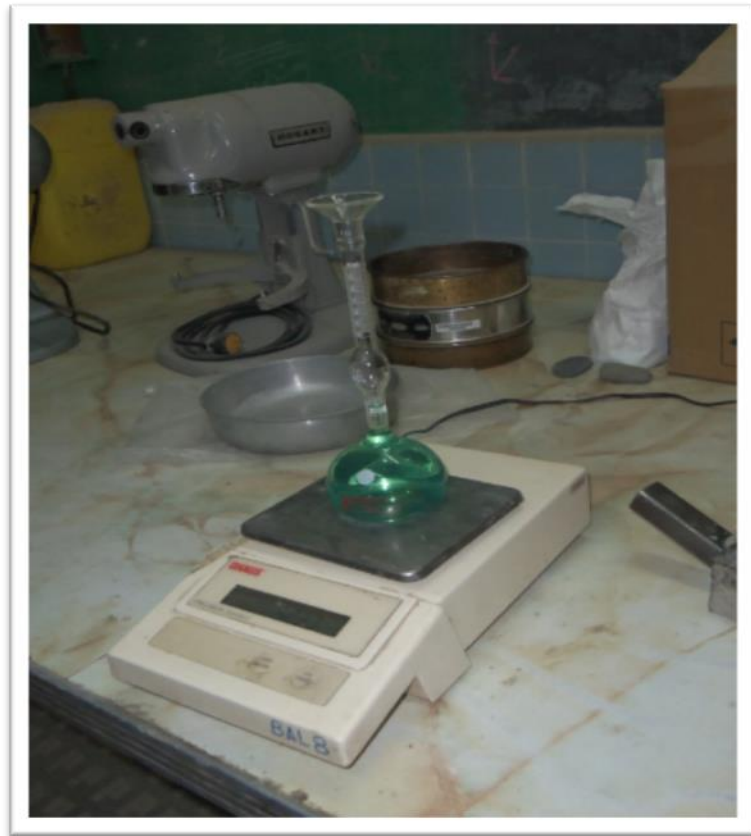


- **Anexo 7.-** Ensayo Densidad Óptima de los Agregados

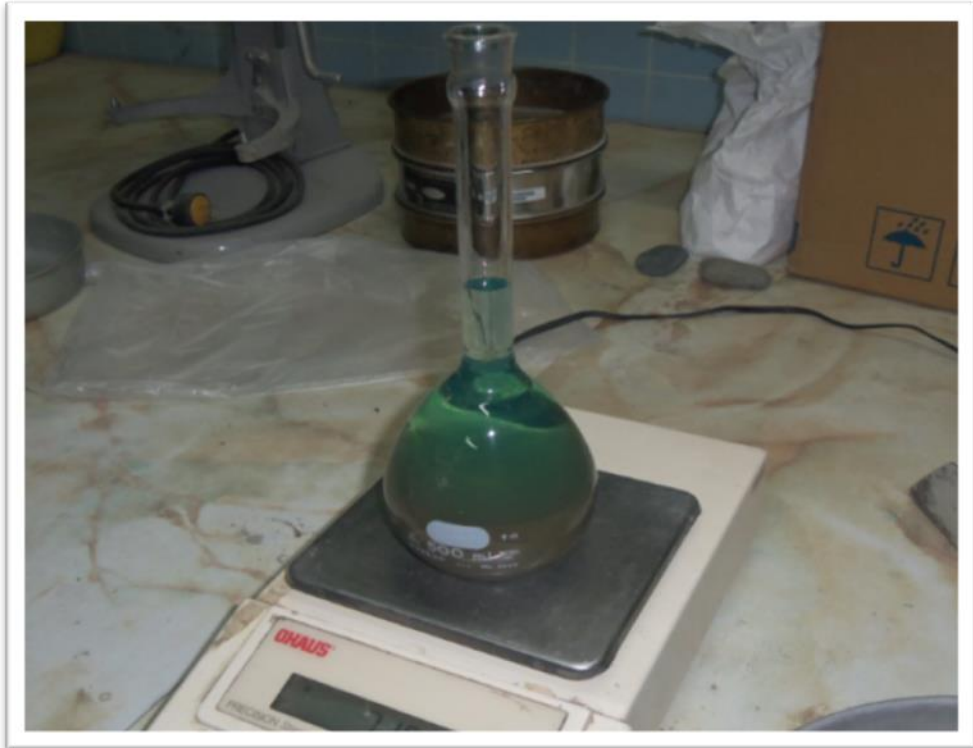




- **Anexo 8.-** Ensayo Densidad Absoluta del Cemento







- **Anexo 9.-** Ensayo Consistencia y Tiempos de Fraguado del Cemento





- **Anexo 10.- Mezclas de Hormigón de Prueba y Definitivas**





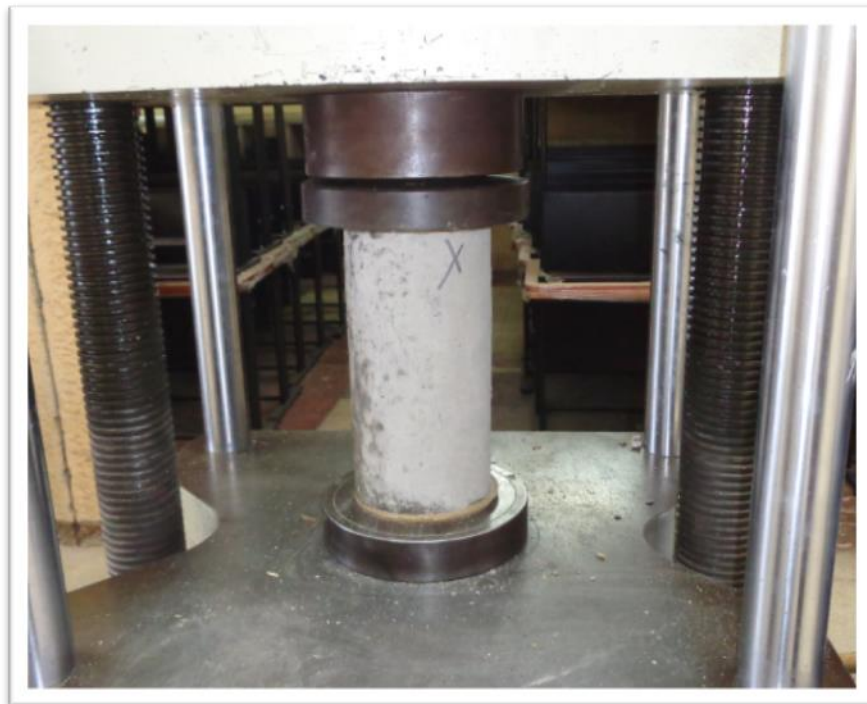


- **Anexo 11.- Vigas de Hormigón Armado**





- **Anexo 12.- Ensayo de Probetas de Hormigón**







- **Anexo 13.-** Ensayo de Vigas de Hormigón Armado



